

# TO<sub>2</sub>MORROW

Magazine over resultaten uit het Open Innovatie Netwerk

2019

**TO<sub>2</sub>** federatie  
De samenwerkende organisaties  
in toegepast onderzoek



## Impact voor de samenleving

TO2 Impactrapportage 2019



**De polder als batterij**  
Gemalen en sluizen in Nederland kunnen met slimme besturing energie en geld besparen. **p.4**

**Medicijn sneller in het schap**  
Door een nieuwe innovatie kan de ontwikkeling van geneesmiddelen met jaren worden ingekort. **p.20**

**Op weg naar robuuste planten**  
Slimme tools voor de duurzame landbouw leiden tot meer robuuste soorten, die minder gewasbescherming vragen. **p.26**



# Impact voor de samenleving

In Nederland en overal ter wereld staan we voor grote maatschappelijke uitdagingen. Vergrijzing zet de betaalbaarheid van de zorg onder druk. Klimaatveranderingen bedreigen biodiversiteit en de groeiende wereldbevolking heeft duurzame energiebronnen nodig. Deze uitdagingen zijn niet zomaar opgelost. Zij vragen om een brede aanpak vanuit overheid, kennis- en onderwijsinstellingen en het bedrijfsleven. Binnen Nederland spelen TO2-instellingen, waarvoor ik als Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat de systeemverantwoordelijke ben, een grote rol door deze partijen samen te brengen rond gemeenschappelijke behoeften. De TO2-instellingen zijn de organisaties voor toegepast onderzoek: Deltares, MARIN, TNO, Wageningen University &

Research (WUR) en NLR. Zij zijn verenigd in de TO2-federatie. Voor u ligt de eerste editie van de TO2 impactrapportage. In dit jaarlijks terugkerende rapport laten de TO2-instellingen met voorbeelden zien aan welke problemen ze samen werken en hoe hun oplossingen bijdragen aan een duurzame, schone, gezonde en veilige toekomst voor Nederland. Oplossingen die niet alleen de maatschappij verder helpen, maar ook het verdienvermogen van het Nederlandse bedrijfsleven vergroten, met speciale aandacht voor innovatie in het mkb. De economische kansen van maatschappelijke uitdagingen staan centraal in het missiegedreven innovatiebeleid waaraan de TO2-instellingen een belangrijke bijdrage leveren. De voorbeelden in dit rapport zijn

ingedeeld langs de thema's die in dit beleid centraal staan. Dat zijn 'energietransitie en duurzaamheid', 'landbouw, water en voedsel', 'gezondheid en zorg', 'veiligheid' en 'sleuteltechnologieën'.

Een van deze voorbeelden is de software ontwikkeld door Deltares waarmee overtollige duurzame energie die anders misschien verloren zou gaan, kan worden ingezet om gemalen te laten draaien. Dit levert tevens grote besparingen voor marktpartijen op (blz. 4-5). Verder laat TNO zien hoe zij bijdragen aan een efficiëntere zorg door baanbrekende AMS-technologie (Accelerator Massa Spectrometer) in te zetten om de ontwikkeltijd van nieuwe medicijnen drastisch te versnellen (blz. 20). Een ander voorbeeld is de ontwikkeling van autonoom varen waaraan MARIN, NLR en TNO gezamenlijk werken (blz. 22-3). Deze technologie moet de mens in de toekomst gaan helpen bij het verrichten van gevaarlijke taken (bijv. ontklaar maken van zeemijnen) en zorgt er tevens voor dat de veiligheid op zee toeneemt. En WUR laat zien hoe sleuteltechnologieën (zoals robotica en sensortechnologie) kunnen bijdragen aan de verduurzamingsambities van de akkerbouw, onder andere door de afhankelijkheid van chemische bestrijdingsmiddelen verder te verkleinen (blz. 26-7). Lees vooral dit rapport wanneer u ook meer wilt weten over alle andere waardevolle bijdragen van de TO2-instellingen aan een betere toekomst voor Nederland.

Ik wens u veel leesplezier.

**Mona Keijzer**

*Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat*

## COLOFON

TO<sub>2</sub>MORROW is een uitgave van de samenwerkende Toegepast Onderzoek Organisaties, verenigd in de TO<sub>2</sub>-federatie. Zij vormen de schakel tussen kennis en innovatie in dienst van overheid, bedrijfsleven en maatschappij. ©2019  
**Meer informatie:**  
[www.to2-federatie.nl](http://www.to2-federatie.nl)

**Tekst en redactie:**  
 TO<sub>2</sub>, ministerie EZK en Maters & Hermsen  
**Eindredactie en vormgeving:**  
 Maters & Hermsen  
**Beeld:**

Deltares, MARIN, NLR, TNO, Wageningen Research & University, TO<sub>2</sub>, Rijksoverheid en iStock  
**Lithografie:**  
 Studio Boon  
**Drukwerk:**  
 SMG Groep

## Inhoud

### THEMA Energietransitie en duurzaamheid

- De polder als batterij bespaart tot 70 procent energie **4**
- Bossen in de berm: geschikt als biomassa en bouw materiaal? **6**
- Hoe worden drijvende zonnecentrales op zee stormbestendig? **7**
- Rekenmethode geeft bouwproducten tweede leven **8**

### THEMA Landbouw, water en voedsel

- Alle data en modellen voor waterbeheer op één plek en voor iedereen! **10**
- Vervangers van vlees 100 procent plantaardig **12**
- KringloopWijzer: voordeel voor melkveehouder en natuur **14**
- Hoe staal en grond beter kunnen samenwerken **15**

### THEMA Gezondheid en zorg

- Patiëntgegevens versleutelen om de juiste behandeling voor hiv te ontcijferen **16**
- Rem op Q-koorts en Lyme **18**
- Medicijnen sneller uit het lab en in het schap **20**

### THEMA Veiligheid

- Criminelen betrappen op het dark web **21**
- Efficiënte inzet schepen door autonoom varen **22**
- Veilig en efficiënter vliegen begint aan de grond **24**

### THEMA Sleuteltechnologieën

- Beeldschermen opnieuw uitgevonden **25**
- Op weg naar meer robuuste planten **26**
- Drone als nieuwe inspecteur van windparken op zee **28**
- Licht: de oplossing voor bijna alles **30**

In het onderstaande overzicht geven elk van de instituten, die deel uitmaken van de TO<sub>2</sub>-federatie, een samenvatting van hun belangrijkste werkterreinen en de sleuteltechnologieën die ze ontwikkelen en toepassen.

#### De TO<sub>2</sub>-federatie bestaat uit:



##### WUR

Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research. Onze ruim 5.500 medewerkers en 12.000 studenten uit meer dan honderd landen werken in ons domein van gezonde voeding en leefomgeving overal ter wereld, zowel voor overheden als voor het bedrijfsleven. De missie van Wageningen University & Research is "To explore the potential of nature to improve the quality of life".

De kracht van Wageningen University & Research ligt in de bundeling van gespecialiseerde onderzoeksinstituten en de universiteit in de samenwerking vanuit verschillende natuur-, technologische- en maatschappijwetenschappelijke disciplines. Daardoor kunnen wetenschappelijke doorbraken snel naar de praktijk en in het onderwijs worden vertaald. Wageningen Research is onderdeel van de TO<sub>2</sub>-federatie en bestaat uit meerdere onderzoeksinstituten, die actief zijn op de thema's Food & Biobased Research, Bioveterinary Research, Livestock Research, Marine Research, Economic Research, Environmental Research, Plant Research en Food Safety Research.



##### MARIN

Het Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) doet onderzoek in hydrodynamica, maritieme (zero-emissie) technologie en operaties met simulaties, modeltesten, ware-groottemetingen en training. MARIN richt zich hierbij op de scheepsbouw, scheepvaart, offshore-industrie en overheden. Hierbinnen besteedt MARIN aandacht aan de volgende maatschappelijke thema's van het missiegedreven innovatiebeleid: energietransitie en duurzaamheid; landbouw, water en voedsel; en veiligheid. Sleuteltechnologieën die bijzondere aandacht krijgen zijn kunstmatige intelligentie en autonomie & decision support.



##### Deltares

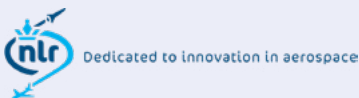
Deltares voert onderzoek uit op het gebied van water en ondergrond. Het onderzoek is voornamelijk gericht op delta's, kustregio's en riviergebieden. Deltares heeft vijf expertisegebieden: 1. Waterveiligheid; 2. Adaptieve delta planning; 3. Bouwen in de Delta; 4. Water en grondstoffen; en 5. Ecosystemen en milieukwaliteit. Het onderzoek van Deltares levert een bijdrage aan alle maatschappelijke thema's van het missiegedreven innovatiebeleid: energietransitie en duurzaamheid; landbouw, water en voedsel; gezondheid en zorg; en veiligheid. Sleuteltechnologieën die bijzondere aandacht krijgen zijn data science, software innovatie en meten en monitoren.



##### TNO

De Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) heeft als missie het verbinden van mensen en kennis om innovaties te creëren die het welzijn van de samenleving en de concurrentiekracht van bedrijven duurzaam versterken. TNO gelooft in gezamenlijke creatie van waarde in economische én maatschappelijke termen en richt zich, samen met partners, op innovaties voor negen domeinen: Bouw, Infra en Maritiem; Circulaire Economie en Milieu; Defensie en Veiligheid; Energie Transitie; Gezond Leven; Industrie; Informatie en Communicatie Technologie; Strategische Analyses en Beleid; Mobiliteit en Logistiek.

Het ontwikkelen en toepasbaar maken van sleuteltechnologieën is een van de kernactiviteiten van TNO binnen deze domeinen. Denk hierbij aan fotonica, nano- en kwantumtechnologie. Maar ook aan nieuwe vormen van productie, materiaal- en chemische technologie. Sleuteltechnologieën worden gekenmerkt door een breed toepassingsgebied of bereik in innovaties en sectoren. Ze zullen de manier waarop we leven, leren, innoveren, werken en produceren ingrijpend veranderen. Sleuteltechnologieën zijn essentieel bij het oplossen van maatschappelijke uitdagingen, zoals veiligheid, energie en zorg. Ook maken sleuteltechnologieën baanbrekende proces-, product- en diensteninnovaties mogelijk en leveren daarmee een grote bijdrage aan de economie, het ontstaan van nieuwe bedrijvigheid en nieuwe markten, het vergroten van de concurrentiekracht en het versterken van de banengroei.



##### NLR

Het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) verbindt wetenschap, bedrijfsleven en overheid in Nederland en internationaal. De kennisorganisatie verricht toegepast onderzoek binnen de marktsegmenten: industrie, civiele luchtvaart, ruimtevaart en defensie. De werkzaamheden van

NLR beslaan daarbij het volledige spectrum van 'Research Development Test & Evaluation' (RDT&E). Binnen het missiegedreven innovatiebeleid richt het onderzoek van NLR zich op de maatschappelijke thema's energietransitie en duurzaamheid en veiligheid. Voorbeelden van sleuteltechnologieën die bijzondere aandacht krijgen zijn kunstmatige intelligentie, augmented/virtual reality, digital twin en geavanceerde materialen (bijv. composieten en 3D metaal printen).





**Probleem:** het laten draaien van gemalen kost veel energie. Tegelijk zijn energiebedrijven en netbeheerders op zoek naar een goede afzet voor hun 'overtollige energie', die door de toename van zonne- en windenergie ontstaat.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** Deltares en TU Eindhoven ontwikkelden een toolbox die berekent op welke momenten je 'slim' kunt malen met duurzame energie die anders misschien verloren gaat.



**(Verwachte) impact:** door overtollige energie op deze manier in te zetten, gaat deze niet verloren en hoeven marktpartijen op termijn minder te investeren in dure opslagsystemen zoals batterijen. Als alle waterbeheerders de toolbox gaan gebruiken, kunnen ze tot wel 70 procent of 45 GWh energie besparen met een directe CO<sub>2</sub>-besparing van 22 kiloton. Dat is bijna 50 procent van de huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot voor de pompenergie in het waterbeheer.

# De polder als batterij bespaart tot 70 procent energie

Deltares

De gemalen in Nederland kunnen met slimme besturing energie en geld besparen. Door duurzaam opgewekte energie te gebruiken die anders misschien verloren gaat. Deltares ontwikkelde software voor 'slim malen'.

De stroom van 15.000 huishoudens. Zoveel kunnen waterbeheerders besparen als ze sluizen, stuwen en gemalen laten werken op momenten dat windmolens en zonnecellen veel energie 'over' hebben. De energieprij is hiervoor een indicatie. Dat is ook prettig voor de energieleveranciers en netbeheerders, die deze energie niet hoeven op te slaan. Dit blijkt uit het onderzoeksproject Slim Malen van Deltares en TU Eindhoven, in samenwerking met STOWA, acht waterschappen, acht (energie)bedrijven en Rijks-waterstaat op vier locaties bij verschillende waterschappen.

## Polders flexibele energiebuffers

Het principe is duidelijk: je probeert vooral te malen in perioden dat er veel, vooral duurzame stroom beschikbaar is. Daarmee wordt de polder als het ware zelf een batterij, zegt Ivo Pothof, expert duurzame energie uit water bij Deltares. "Die laadt zich op door het neerslagoverschot en

'ontlaadt' tijdens het wegmalen van overtollig water. Als waterbeheerders dat doen op momenten dat er veel duurzame energie beschikbaar is, komt er meer balans in vraag en aanbod van elektriciteit. Dat is een belangrijke bijdrage aan de energietransitie."

Volgens Pothof kunnen waterschappen jaarlijks dertig tot zeventig procent energie besparen door gebruik te maken van slimme sturingssystemen. Daarmee brengen ze ook hun CO<sub>2</sub>-emissie flink terug. De huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot voor de pompenergie in het waterbeheer bedraagt 46 kiloton, volgens de Klimaatmonitor. Dit is evenveel als de uitstoot van 251 miljoen autokilometers.

## Slimme regelstrategie

Maar hoe werkt het precies? En er zijn toch ook andere argumenten om wel of niet te malen? Het antwoord zit in een toolbox voor slimme regelstrategieën. Deze software koppelt weersverwachting, getijdenbeweging, bergingscapaciteit en pomp-

eigenschappen aan de duurzame doelen van de waterschappen. En maakt zo een afgewogen timing mogelijk.

Deltares heeft deze open-source toolbox, RTC Tools genaamd, doorontwikkeld. Als alle waterbeheerders die gaan gebruiken, is de verwachte energiebesparing 45 GWh, met een directe CO<sub>2</sub>-besparing van 22 kiloton. De toolbox maakt de kennis direct toepasbaar in de praktijk.

---

**Als netwerkbedrijven energie moeten opslaan, zou dat 150 miljoen euro kosten**

---

## Goede afzet

Energiebedrijven en netbeheerders zijn belangrijke partners in Slim Malen. Zij zijn op zoek naar een goede afzet voor hun 'overtollige energie', die door de toename van zonne- en windenergie ontstaat. Het







scheelt de bedrijven op termijn dikkere kabels en dure opslagsystemen zoals batterijen. Adviesbureau E-Risk en Deltares berekenden de 'opslagcapaciteit' van het Nederlandse watersysteem dat wordt bemalen. Als netwerkbedrijven die energie zouden moeten opslaan in batterijen, zou dat minstens 150 miljoen euro kosten.

#### **Komende jaren overstappen**

Het principe van slim malen is getest in vier bureaustudies, waarin watersystemen zijn doorgerekend met de RTC Tools. De conclusie: zelfs met eenvoudige regelsystemen kunnen waterschappen resultaten boeken. Dat vereist vaak weinig investeringen en levert direct iets op. Complexere systemen kosten meer, afhankelijk van de mate waarin waterschappen nu al iets doen aan centrale regeling. De studies zelf leverden energiebesparingen op van vijf tot zeventig procent. De grote verschillen verklaart Pothof door de variatie in de omstandigheden. "Bij een watersysteem

met weinig getijdenbeweging heb je bijvoorbeeld veel minder speelruimte." Pothof verwacht dat waterschappen de komende jaren overstappen op geavanceerde regelsystemen. Ze kunnen dan in 2025 energieneutraal zijn.

#### **Waterkrachtcentrales**

De kennis die in de pilots is opgedaan is ook bruikbaar voor waterkrachtcentrales in het buitenland. De afstemming tussen verwachte neerslag, buffering in reservoirs en de optimale inzet van de waterkrachtcentrale is vergelijkbaar. Maar ook in Nederland wordt de ontwikkelde kennis ingezet voor andere toepassingen, zoals de sturing van duurzame warmtenetten. Daarbij wordt warmte opgeslagen in buffers en gebouwen, zodat de duurzame bronnen zoveel mogelijk kunnen leveren en de inzet van (fossiele) piekvoorzieningen minimaal blijft. ■

**Meer info op:** [www.slimmalen.nl](http://www.slimmalen.nl)

**Wie:** Deltares en TU Eindhoven, samen met STOWA, waterschappen, (energie)bedrijven en Rijkswaterstaat.

**Looptijd:** maart 2016 – maart 2019.

**Budget:** 1.050.000 euro.





**Probleem:** om de klimaatdoelstellingen te halen is een sterke reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland nodig. Bossen langs snelwegen worden hierbij nog onvoldoende benut.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** op basis van een onderzoek hoe bossen in de berm kunnen bijdragen aan de klimaatdoelen, ontwikkelde WUR een online gereedschapskist voor terreinbeheerders gevuld met klimaatlimme beheermaatregelen.



**(Verwachte) impact:** via slim bosbeheer de CO<sub>2</sub>-uitstoot verlagen en bijdragen aan de circulaire economie door hout te gebruiken bij de opwekking van groene stroom en toe te passen als bouw materiaal.

# Bossen in de berm: geschikt als biomassa en bouw materiaal?

WUR

Met de aanplant van bossen langs snelwegen en tankstations wil Rijkswaterstaat bijdragen aan de klimaatdoelen. Een deel van het hout kan worden gebruikt voor het opwekken van groene stroom. In een pilot onderzoekt Wageningen University & Research (WUR) hoe dat het beste kan worden aangepakt.

Het kabinet wil vanaf 2030 1,5 miljoen ton CO<sub>2</sub> vastleggen via bos en hout. Rijkswaterstaat ziet kansen om de komende twintig jaar honderdduizend hectare bos aan te planten langs snelwegen of rondom tankstations. Nederland heeft nu zo'n 365.000 hectare bos, daar zou dus ruim een kwart bij komen. De bossen kunnen volgens Rijkswaterstaat in een strook van minimaal driehonderd meter langs de Nederlandse snelwegen, in totaal drieduizend kilometer, worden aangelegd. Naast minder CO<sub>2</sub>-uitstoot kunnen bossen in de berm ook een bijdrage leveren aan de circulaire economie. Denk aan hout en maaisel die worden gebruikt bij de opwekking van groene stroom. Een andere toepassing is als bouw materiaal, mits het hout van goede kwaliteit is. WUR coördineert een aantal pilots van Rijkswaterstaat met bosbeheerders en terreinbeheerders om te onderzoeken hoe dat het beste kan worden aangepakt.

In verschillende bospercelen langs snelwegen onderzoekt WUR de standplaatsfactoren en de kenmerken van beplanting (soort, dichtheid, houtvolume). Aanvullend zijn er jaarringmetingen gedaan voor bepaling van productiviteit, droogtegevoeligheid en de algehele vitaliteit van de beplanting. Op

basis hiervan adviseren de onderzoekers op welke plekken Rijkswaterstaat in de toekomst het beste kan uitbreiden. Uitgangspunt is daarbij dat bij de productie van deze hoogwaardiger kwaliteit hout het landschappelijke beeld en de biodiversiteit niet worden aangetast.

Voor terreinbeheerders leveren de pilots een gevulde online "gereedschapskist" op met slimme beheermaatregelen voor mitigatie (klimaatveranderingen tegen gaan) en -adaptatie (aanpassen aan nieuwe situatie). Zowel bij de ontwikkeling van

deze tool als de uitbreiding is de hulp nodig van diverse partners waaronder de verschillende overheden, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en de waterschappen. ■

**Wie:** WUR met Rijkswaterstaat, H+N+S Landschapsarchitecten, Stichting Hout Research en Staatsbosbeheer.

**Looptijd:** eind februari 2020.

**Budget:** 80.000 euro.





**Probleem:** de markt voor drijvende zonnecentrales speelt zich nu voornamelijk af op kleine binnenmeren, maar met grotere oppervlaktes als de Noordzee is een hogere energieproductie te halen. De huidige generatie drijvende zonnecentrales is echter te kwetsbaar voor wind, golven en stroming.



**Oplossing:** MARIN, ECN part of TNO en Universiteit Utrecht ontwikkelden een drijvende zonnecentrale die ondanks zijn lichte gewicht en het grote oppervlak niet kapotgaat bij hoge golven.



**(Verwachte) impact:** Door de ruimte tussen windturbines op zee (deels) te gebruiken voor drijvende zonnecentrales kan de duurzame energieproductie ten opzichte van wind alleen worden verdubbeld.



*Experimenten op modelschaal vinden plaats in in het offshore bassin van MARIN in Wageningen.*

# Hoe worden drijvende zonnecentrales op zee stormbestendig?

MARIN, ECN part of TNO

Drijvende zonnecentrales zijn in Nederland vooral te vinden op kleine binnenmeren. Maar ook op de Noordzee zijn volop kansen, mits de systemen golfbestendig zijn. De energieproductie van bestaande offshore windparken kan verdubbelen wanneer slechts een vijfde tot een kwart van de ruimte tussen de turbines wordt gebruikt voor drijvende zonnecentrales, die door MARIN in samenwerking met ECN part of TNO en Universiteit Utrecht zijn ontwikkeld.

De markt voor zonnecentrales op binnenwater wordt steeds volwassener. Wereldwijd was er in 2019 ongeveer 1 GW aan zonnecentrales drijvend opgesteld, ongeveer evenveel als het vermogen van alle windturbines in het Nederlandse gedeelte van de Noordzee. Op dit moment speelt de bestaande markt zich voornamelijk af op kleinere meren. Maar met grotere oppervlaktes als de Noordzee is meer impact te halen.

MARIN deed de afgelopen twee jaar metingen in de Slufter (Maasvlakte), het IJsselmeer en de Noordzee. Doel is het ontwikkelen van zonnecentrales met een levensduur van 25 jaar die bestendig zijn tegen stormen en hoge golven, legt senior projectmanager William Otto uit.

**Lichtgewicht met groot oppervlak**  
Wat drijvende zonnecentrales onderscheidt

van bestaande drijvende constructies is het lage gewicht van de constructie en het enorme oppervlak. Voor deze lichtgewicht constructie is gekozen om het gebruik van grondstoffen zo veel mogelijk te beperken, bevestigd William Otto. Zonnepaneel, bekabeling en (micro-)inverters wegen samen minder dan 100kg/m<sup>2</sup>, wat zorgt dat deze slechts 1 cm diep liggen. Aan de andere kant zijn er wel hectares oppervlak nodig. Deze combinatie van weinig gewicht en grote oppervlaktes vraagt om flexibele constructies.

Naast computersimulaties zijn modelschaal-experimenten een belangrijke pijler van het MARIN-onderzoek. Deze vinden plaats in eigen bassins in Wageningen. Met nieuwe optische meetmethodes brengen onderzoekers de vervormingen van grote oppervlaktes in kaart. Deze zijn van invloed op de hoeveelheid zonlicht die de drijvende zonnecentrales uiteindelijk kunnen opvangen en bepalen of ze de storm ook overleven zonder te bezwijken. ■

**Wie:** ECN part of TNO, MARIN, Universiteit Utrecht, energiebedrijf TAQA en het Leidse bedrijf Oceans of Energy.

**Looptijd:** 2018-2020.





**Probleem:** de Nederlandse bouw- en sloopsector produceert elk jaar 25 megaton afval. Om onze ecologische afdruk te verminderen, moeten we meer materiaal hergebruiken in plaats van weggooien.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** TNO ontwikkelde een rekenmethode die de toekomstige restwaarde van een bouwelement berekent. Daarmee kan de eigenaar beslissen of zo'n element nog een tweede of derde leven verdient.



**(Verwachte) impact:** een circulaire bouwsector. Door producten opnieuw te gebruiken gaan de kosten omlaag, verschuift de focus naar het herstellen en opknappen van producten in plaats van produceren en slopen. Producten zullen worden ontworpen om meerdere levensduuren mee te kunnen en maken nieuwe verdienmodellen mogelijk.

# Rekenmethode geeft bouwproducten tweede leven

TNO

De Nederlandse bouw- en sloopsector produceert elk jaar 25 megaton afval. Wat als we al dat materiaal hergebruiken, in plaats van weggooien? TNO ontwikkelt een rekenmethode die bouwproducten een tweede leven geeft.

De helft van al het materiaal dat Nederland elk jaar gebruikt zit in gebouwen. Als we onze ecologische voetafdruk willen verminderen, moeten we zuiniger en slimmer omgaan met grondstoffen. Dat betekent minder nieuwe grondstoffen gebruiken en producten langer gebruiken. Of, zoals de Engelsen samenvatten: refuse, reduce, re-use, recycle, repurpose.

## Verduurzamen met afval

Hergebruik begint met het anders bekijken van afval. TNO ontwikkelt hiervoor samen met het C2C ExpoLAB de Residual Value Calculator. Deze berekent de toekomstige restwaarde van bouwelementen; niet op basis van de afschrijvingen of dagwaarde van het materiaal, maar houdt rekening met verschillende factoren zoals kwaliteit van het product, hoe makkelijk een product te demonteren is, transport en onderhoud- en reparatiekosten. Het prototype is gebaseerd op twee herkenbare elementen uit het

Nederlandse kantoorlandschap: binnenwanden in kantoren en gevels op gebouwen.

## Restwaarde is nooit nul

Over de levensduur van woningen en kantoren vinden we het normaal om af te schrijven naar nul euro. Onderdelen hebben vaak nog een (rest)waarde aan het einde hiervan. Op dit moment wordt deze waarde bepaald door de dagwaarde van de materialen zoals glas, hout of beton.

De waarde kan echter hoger zijn. Naast bijvoorbeeld een hoeveelheid hout bevat het product tenslotte ook vakmanschap, technologie en machinegebruik.

## Tweede leven

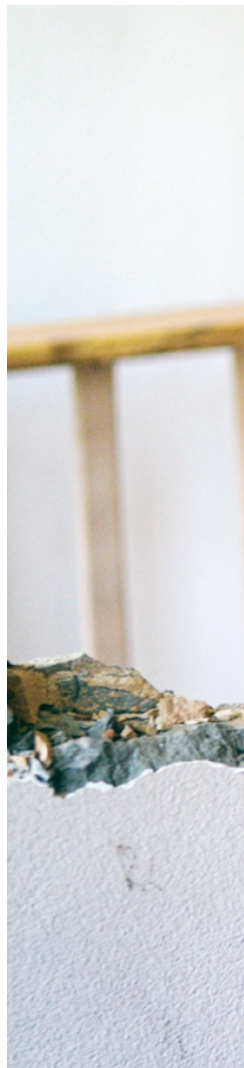
Neem een binnenwand. Die gaat lang mee; tot hij is afgeschreven of overbodig geworden door uitbreiding van personeel en anders ingedeelde kantoorruimten. De standaardoplossing is slopen en versnipperen tot houtsnippers voor de spaanplaatindustrie.

Stel nu dat je de binnenwanden demonteert, controleert op technische kwaliteit, een laag verf geeft en op een andere plek weer samenstelt tot één binnenwand. Dan kan het product opnieuw tien jaar worden ingezet en blijft de toegevoegde waarde behouden. Binnenwanden en gevels zijn pas het begin: het is de bedoeling dat deze 'rekenmachine' de waarde leert voor veel verschillende bouwproducten en zo inzicht biedt in de daadwerkelijke restwaarde van verschillende roerende, semi-roerende en eventueel zelfs onroerende goederen in een gebouw.

## Gevolgen voor de bouw

Met deze rekenmethode draagt de eigenaar niet alleen bij aan circulair materiaalgebruik, maar kan ook beter inschatten of het finan-

**De rekenmethode maakt nieuwe verdienmodellen mogelijk**





*Voor binnenwanden is slopen de standaardoplossing. Maar stel dat je deze demonteert en kunt hergebruiken?*

cieel loont een product voor een tweede of zelfs derde keer in te zetten. De impact daarvan is groot. Zo gaan de kosten voor de gebruiker van het product omlaag. Daarnaast voorspelt TNO dat de focus verschuift van produceren en slopen, naar het herstellen en opknappen van producten. Producten zullen zelfs worden ontworpen om meerdere levensduren mee te kunnen. Ontwerpers zullen ook meer nadenken hoe ze het design in makkelijk demonteerbare delen op kunnen breken. Net als lego.

#### **Abonnement**

TNO werkt samen met verschillende partijen uit de gevelbranche zoals Alkondor, Blitta, Kawneer, Pilkington, Schüco, om de impact van restwaarde op hun bedrijfsmodellen in kaart te brengen. Met deze nieuwe rekenmethode heeft een gebruikt bouwelement namelijk nog steeds een 'bewezen' waarde. Het kan worden teruggenomen, opgeknapt en opnieuw

ingezet. Dat maakt nieuwe verdienmodellen mogelijk, bijvoorbeeld lease of koop-terugkoop.

Ook kan de rekenmethode helpen circulaire financiering te krijgen voor nieuwe bedrijfsmodellen: door een geaccepteerde restwaarde te presenteren aan de bank, kan er met minder risico worden geïnvesteerd. Voordat we allemaal een abonnement hebben op binnenwanden, moeten alle partijen in de bouwketen de restwaardeberekening accepteren. TNO werkt samen met verschillende partijen, waaronder Deloitte, om de financiële impact goed in kaart te brengen op verschillende niveaus - van commerciële jaarrekening tot kasstroom. Dit maakt het mogelijk voor partijen om in de planningsfase al afspraken te maken over de restwaarde van bouwelementen. ■

**Wie:** TNO en C2C ExpoLAB werken samen met verschillende partijen uit de gevelbranche en Deloitte.

**Looptijd:** sinds 2017 twee projecten van zes maanden, met een derde project in aantocht.

**Budget:** tot nu toe tweemaal ongeveer 130.000 euro.

**Vervolg:** TNO wil in 2020 een publiek-privaat samenwerkingsprogramma opzetten om de methodiek verder te bewijzen en te toetsen met verschillende casussen in het bedrijfsleven. Ook willen ze met stakeholders zoals financiers, bouwers, opdrachtgevers, architecten gaan werken om financiële restwaarde vast onderdeel te laten worden van (onderdelen van) bouwprojecten.





**Probleem:** wat te doen bij droogte, overstroming of mogelijke verzilting? Om gevolgen van waterbeheersmaatregelen vooraf door te rekenen, werken waterbeheerders met digitale modellen. Dat kostte tot voor kort veel tijd en moest voor verschillende bodemlagen en regio's apart worden gedaan.



**TO2-oplossing:** Deltares en WUR werken samen aan het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), waarmee waterbeheerders effecten van maatregelen beter en goedkoper kunnen berekenen.



**(Verwachte) impact:** waterbeheerders zijn beter voorbereid op de gevolgen van klimaatverandering. Het NHI geeft sneller en beter inzicht in de gevolgen van waterbeheersmaatregelen, en levert vanaf 2021 - als het systeem volledig open access is - een kostenbesparing op van 2,5 miljoen euro per jaar in modeleringskosten. Overheden en veel adviesbureaus passen de software, data en de daarvan afgeleide modellen inmiddels in de praktijk toe.



# Alle data en modellen voor waterbeheer op één plek en voor iedereen!

Deltares,  
WUR

Klimaatverandering vraagt veel van ons waterbeheer. Wat te doen bij droogte, overstroming of mogelijke verzilting? Dankzij het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI) kunnen waterbeheerders effecten van maatregelen beter en goedkoper berekenen. Door verbeteringen van Deltares en Wageningen University & Research (WUR) is in 2019 de effectiviteit verder toegenomen.

Wat vraagt nóg een droge zomer van ons waterbeheer? Welke maatregelen zijn nodig? Voor zulke vraagstukken willen waterbeheerders mogelijke oplossingen doorrekenen en simuleren, voor onderbouwing en draagvlak. Dat kan met het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), een verzameling software en data voor het ontwikkelen van watermodellen op landelijke en regionale schaal. Met deze modellen kunnen zij zien wat de gevolgen van maatregelen zijn voor het water in de bodem, de diepere ondergrond en het oppervlaktewater.

## Onmisbaar instrument

Door modellen te baseren op het NHI maakt iedereen gebruik van dezelfde kwalitatief goede data en software, vertelt Timo Kroon, projectleider NHI bij Deltares. Resultaten uit verschillende regio's zijn daardoor vergelijkbaar. "Bovendien is de centrale ontwikkeling en het centrale beheer efficiënter dan wanneer partijen voor zichzelf modellen zouden maken."





modellen voor grondwater, oppervlaktewater en de onverzadigde zone. Hierdoor kunnen gevolgen voor die verschillende 'lagen' in één berekening worden meegenomen. Daardoor is er meer inzicht in de effecten van maatregelen zoals dynamisch peilbeheer en de berekening van de grondwaterstanden.

Verder is in 2019 gewerkt aan een plan om de data en software van het NHI 'open' beschikbaar te stellen. Waterbeheerders beschikken over eigen data, maar om de gevolgen regionaal en landelijk in kaart te brengen, is samenwerking nodig, aldus Kroon. Een open instrumentarium levert voordelen voor alle waterschappen, andere overheden en bedrijven zoals waterleidingbedrijven en adviesbureaus. "Het is uniek in de wereld dat deze gegevens en rekenmodellen straks voor iedereen te gebruiken zijn. In andere landen worden deze vaak afgeschermd of commercieel verhandeld." De openbare beschikbaarheid van data en software levert ook een kostenbesparing op. Kroon: "Hydrologische modellering kost jaarlijks zo'n 7,5 miljoen euro. Door bundeling van gegevens en software denken we dertig procent te kunnen besparen." Er is nog twee jaar nodig om het NHI open access te maken. Eind 2021 moet dit klaar zijn. Ook hier werken Deltares en WUR nauw samen met overheden, de waterbeheerders en -bedrijven.

### Internationale belangstelling

Internationaal is er veel belangstelling voor het instrumentarium. Recent is bijvoorbeeld door de Argentijnse en Nederlandse overheid een pilot gestart om het instrument toe te passen op de Argentijnse pampa's. Daar willen ze het landgebruik, met name voor de verbouw van soja, beter in evenwicht krijgen met het grondwatersysteem. ■

Meer info op: [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)

**Wie:** Deltares en WUR samen met VEWIN (waterleidingbedrijven), KWR, provincies, waterschappen, ministerie IenW, LNV en een toenemend aantal adviesbureaus.

**Looptijd:** sinds 2006, in 2019 verder verbeterd.

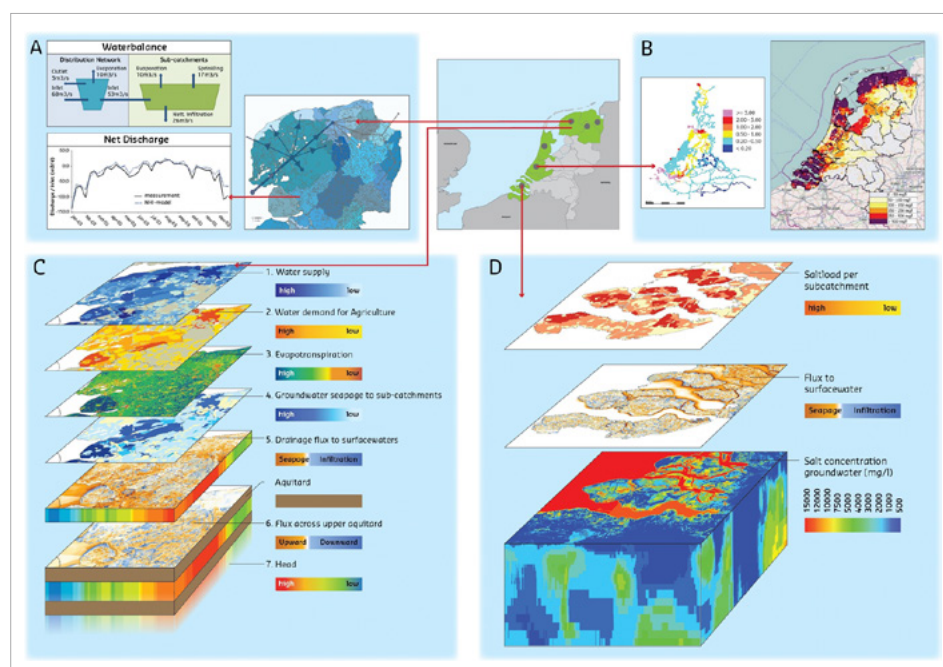
**Budget:** jaarlijks 250.000 euro aan TO2-Rijksbijdrage (besteed aan de software van het NHI, sinds het open source werd in 2014). In 2019 en 2020 een extra investering van 200.000 euro.

**Vervolg:** doorontwikkeling en openbaar beschikbaar in 2021.

Het NHI is een onmisbaar instrument geworden voor de onderbouwing van het beleid van nationale en regionale overheden in Nederland. Inmiddels past een groot aantal adviesbureaus de software, data en de daarvan afgeleide modellen toe. Het NHI startte in 2006 als ontwikkeling van WUR en Deltares, in opdracht van RWS, STOWA en PBL. Inmiddels is het betrokken aantal partijen sterk uitgebreid: VEWIN (waterleidingbedrijven), KWR, provincies, waterschappen, ministerie IenW, LNV en een toenemend aantal adviesbureaus.

### Sneller, beter en openbaar

Dankzij extra TO2-Rijksbijdrage kon het NHI in 2019 verder worden verbeterd door hydrologen en dataspecialisten. Deltares en WUR werkten hierbij samen. Bijvoorbeeld aan snellere software voor grondwatermodellen (iMOD). Het berekenen van gevolgen voor de grondwaterstand voor een termijn van tientallen jaren kostte voorheen soms wel een maand. Nu kan dat in een dag of vijf. Een andere verbetering is de koppeling van



Figuur 1: Overzicht van resultaten van het NHI: A) waterbalans van deel stroomgebieden, B) Zout in het oppervlaktewatersysteem C) fluxen en grondwaterstijghoogten in de onverzadigde en verzadigde grondwater D) Zout concentraties in verzadigde grondwater en zout flux naar het oppervlaktewater.



**Probleem:** om de wereldbevolking op termijn te kunnen blijven voeden is het nodig dat consumenten minder dierlijke en meer plantaardige eiwitten gaan eten. De overstap blijkt toch niet zo gemakkelijk, omdat vlees bij veel mensen een geliefd product is.



**TO<sub>2</sub>-Oplossing:** WUR en TU Delft ontwikkelden een vleesvervanger op basis van plantaardige producten die qua structuur lijkt op vlees.



**(Verwachte) impact:** gezonde balans consumptie dierlijke/plantaardige eiwitten beter voor mens en omgeving. Consumenten zullen eerder overstappen naar plantaardige vleesvervangers. Voor marktpartijen is de nieuwe techniek ook aantrekkelijk, omdat deze veel goedkoper en eenvoudiger is dan de huidige technieken en nieuwe producten mogelijk maakt.

# Nieuwe vervangers van vlees 100 procent plantaardig



WUR

Een dieet met minder dierlijke en méér plantaardige eiwitten. Dat is nodig om de wereldbevolking te kunnen blijven voeden. Maar consumenten voelen hier weinig voor. Een nieuwe generatie vleesvervangers moet de omslag vergemakkelijken. Met dank aan een nieuwe technologie, ontwikkeld door Wageningen University & Research (WUR) en TU Delft.

De afgelopen vijftig jaar is het Westerse voedingspatroon ingrijpend veranderd. Was vroeger veertig procent van de eiwitten die we aten dierlijk, tegenwoordig is dat zestig procent. Terwijl de huidige productie van vlees veel vraagt als het gaat om het gebruik van land, water en grondstoffen. Onze gezondheid én die van onze planeet hebben baat bij een consumptie van meer plantaardig en minder dierlijk eiwit. Consumenten willen vooralsnog het liefst plantaardige producten die lijken op vlees.

#### Vleesstructuur nabootsen

Samen met collega's van de TU Delft ontwikkelden Wageningse onderzoekers een methode om 'plantaardig vlees' te maken. Met de innovatieve Shear Cell Technology werden ingrediënten van peulvruchten zoals sojabonen zo bewerkt dat er een vleesstructuur ontstaat met de fijnheid en vezelstructuur van een biefstuk. De struc-

tuur van dit vlees is fijner dan tot nu toe met de beschikbare technologie (extrusie) kon worden bereikt.

WUR-hoogleraar Atze Jan van der Goot maakte met deze techniek de eerste honderd procent plantaardige biefstuk. Dat was geen eenvoudige opgave. "De structuur van biefstuk verandert tijdens het bakken: van binnen medium, van buiten knapperig. Lastig om dat effect na te bootsen." Het nieuwe product maakt dierlijke ingrediënten als ei of wei als bindmiddel overbodig en kent geen beperkingen in formaat.

De nieuwe techniek is volgens WUR veel goedkoper en eenvoudiger dan de technieken waarmee nu vleesvervangers gemaakt

**Met deze technologie is het mogelijk om ook andere structuren te gaan maken, zoals varkensvlees**





worden. Productie kost slechts tien procent van de energie van vlees. Bovendien worden de producten heel anders, stelt Van der Goot: “De vleesvervangers die nu op de markt zijn, lijken op kippenvlees of het zijn gehakt-achtige producten. Met onze technologie is het mogelijk om ook andere structuren te gaan maken, zoals varkensvlees.”

#### Consumentengedrag

Voor eiwitleveranciers en voedingsmiddelenfabrikanten zijn er volop kansen om nieuwe eiwitten op te nemen in hun productportfolio en deze te vertalen naar nieuwe en betere producten. WUR ondersteunt hen met advies op maat, gebaseerd op de laatste wetenschappelijke inzichten en technologieën, en jarenlange ervaring in disciplines die nauw met elkaar verbonden zijn. Ook onderzoekt WUR al meer dan dertig jaar consumentengedrag. Zo blijkt uit studies dat restaurantbezo-

kers tot 113 procent meer groenten en tot dertien procent minder vlees of vis eten als de horecaondernemer dit op een aantrekkelijke manier aanbiedt. De waardering van de gast blijft hierbij gelijk of stijgt. De studies maken deel uit van Food Value Impact, een publiek-private samenwerking met negentien kennisinstellingen, bedrijven en non-profit organisaties.

#### Mondgevoel

Van der Groot constateert dat producenten zich nu nog heel erg concentreren op het nabootsen van het mondgevoel en de structuur van echt vlees. Dat zal hopelijk veranderen als we straks massaal zijn overgestapt op plantaardig vlees. “Misschien staat de consument dan ook wel open voor smaken en texturen die echt afwijken van vlees.” ■

**Wie:** WUR in samenwerking met bedrijven (machinebouwers, ingrediëntenleveranciers, foodproducenten, horeca) en met andere onderzoeksinstellingen, waaronder TU Delft.

**Looptijd:** doorlopend.





**Probleem:** mineralen (bodem, mest, voer) in het melkveebedrijf worden niet optimaal gebruikt en belasten het milieu.



**TO<sub>2</sub>-Oplossing:** de WUR ontwikkelt de KringloopWijzer, een online hulpmiddel voor melkveehouders voor efficiënte benutting van mineralen.



**(Verwachte) impact:** circulaire melkveehouderij. Betere benutting van mineralen in het melkveebedrijf zorgt voor een betere bodem-, lucht- en waterkwaliteit. Sinds 2016 is het invullen van de KringloopWijzer voor bijna alle zuivelboeren verplicht, die financiële voordelen kunnen behalen bij goede prestaties.



# KringloopWijzer: voordeel voor melk- veehouder en natuur

WUR

Mineralen in het bedrijf (bodem, mest, voer) zo efficiënt mogelijk benutten. Dat is de pijler van de circulaire landbouw en een belangrijke ambitie van de zuivelsector. De KringloopWijzer helpt melkveehouders daarbij. Sinds 2016 is het invullen van de tool, ontwikkeld door de Wageningen University & Research (WUR), voor bijna alle zuivelboeren verplicht.

De KringloopWijzer brengt de milieuprestaties van het hele melkveebedrijf in beeld. Dankzij vrij toegankelijke software kunnen melkveehouders data automatisch inlezen en berekeningen maken. De hiervoor door WUR ontwikkelde rekenmodules worden continu onderbouwd door de meest actuele wetenschappelijke data. Een dashboard omvat zes milieu-indicatoren op bedrijfsschaal: stikstofbodemoverschot, ammoniak, broeikasgas-emissie per kilogram meetmelk, percentage blijvend grasland en percentage eiwit van eigen land.

#### Meer gewasopbrengst

Door zich op deze zes indicatoren te richten wil de zuivelsector werken aan een betere

bodem-, lucht- en waterkwaliteit. Daaraan valt nog genoeg te verbeteren. Zo kan niet benut stikstof uitspoelen in de vorm van nitraat naar het grondwater. De stof kan ook vervliegen in de vorm van lachgas of ammoniak. Daarnaast geeft het percentage eiwit van het op eigen land geproduceerde voer inzicht in de zelfvoorzieningsgraad van het eigen bedrijf. De KringloopWijzer biedt daarnaast aandachtspunten voor verbetering. Dat kan winst opleveren voor de natuur, maar ook voor de melkveehouder zelf. Door de tool kan bijvoorbeeld de grasopbrengst stijgen, hoeft er mogelijk minder mest te worden afgevoerd of minder kunstmest te worden ingekocht. Als een bedrijf er daadwerkelijk in slaagt om meer gewasopbrengst

te halen, hoeft het bovendien minder ruw- en krachtvoer te kopen.

#### Punten verdienen

Bij goede prestaties op het gebied van stikstof, fosfaat en broeikasgassen kan de melkveehouder punten verdienen bij de melkverwerker. Dit levert enkele centen per honderd kilogram melk op. Komt een boer in aanmerking voor een keurmerk (zoals *On the way to planet proof*) dan brengt dit nog meer financieel voordeel. Rabobank geeft daarnaast korting op rentes aan melkveehouders die goed scoren op kengetallen uit de KringloopWijzer. ■

Meer info op: [mijnkringloopwijzer.nl](https://mijnkringloopwijzer.nl)

**Wie:** WUR in samenwerking met onder meer de melkveehouderijsector, de zuivelindustrie, veevoederbedrijven, voorlichtingsorganisaties PPPAgroAdvies en Boerenverstand en de ministeries LNV en IenW.

**Looptijd:** doorlopend sinds 2012.



**Probleem:** Nederland staat voor de grootste dijkversterkingsoperatie ooit. Het gaat om de versterking van zo'n 1300 km waterkeringen om te voldoen aan de aangescherpte veiligheidseisen. Voor circa 100 kilometer zijn stalen damwanden nodig, die duur en lastig te plaatsen zijn.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** Deltares ontwikkelde en testte een concept gebaseerd op dunnere damwanden, aan te leggen midden in de dijk om ervoor te zorgen dat de gronddijk en de stalen wand gaan samenwerken.



**(Verwachte) impact:** het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) hanteert de door Deltares ontwikkelde manier van damwanden ontwerpen inmiddels als de nieuwe standaard. Door de modellen van Deltares hoeven de damwanden dertig procent minder dik te zijn. Dit scheelt tevens in de kosten, mede omdat dijkversterkingsoperaties eenvoudiger en sneller kunnen worden uitgevoerd.

# Hoe staal en grond beter kunnen samenwerken



*In Eemdijk werd een damwand in een aangelegde proefdijk tot bezwijken gebracht.*

Deltares

**Stalen damwanden worden al langer gebruikt in waterkeringen in bebouwde gebieden. Dankzij nieuwe softwaremodellen van Deltares weten we nu dat die wanden een stuk dunner kunnen zijn. Dat is net zo veilig, goedkoper en geeft minder overlast bij aanleg.**

Grote delen van de waterkeringen in Nederland worden de komende jaren versterkt om te voldoen aan de aangescherpte eisen voor de veiligheid. Het gaat om zo'n 1300 kilometer. Voor pakweg 100 kilometer zijn stalen damwanden nodig voor de versterking. Veelal omdat het gaat om bebouwd gebied, waar versterking met alleen grond niet mogelijk is door ruimtegebrek.

## Elkaar versterken

Die stalen damwanden zijn duur en lastig te plaatsen. Het zou beter zijn het staal te laten samenwerken met de grond, bedachten deskundigen jaren geleden al. Meindert Van van Deltares legt uit hoe het werkt: "In plaats van in de dijk een dikke metalen wand te plaatsen die zelfstandig het water tegenhoudt, willen we een dunner exem-

plaar aanleggen, midden in de dijk. Om te zorgen dat de gronddijk en de stalen wand gaan samenwerken."

## Software en testdijk

Met behulp van TO<sub>2</sub>-Rijksbijdrage is dit idee uitgewerkt en heeft Deltares strategieën en softwaremodellen ontwikkeld. In het Hoogwaterbeschermingsprogramma van Rijkswaterstaat en de waterschappen kreeg het een plek in het Project Overstijgende Verkenning Macrostabiteit (POVM). In een groot samenwerkingsverband van overheden, kennisinstituten, ingenieursbureaus en aannemers is vervolgens een test gedaan bij Eemdijk, met een speciaal daarvoor gebouwde testdijk. Die toonde aan dat de modellen voor de samenwerking van grond en staal klopten. Door de nieuwe modellen hoeven de sta-

len wanden dertig procent minder dik te zijn. Dat scheelt volgens Meindert Van ook een derde in de kosten, mede omdat de uitvoering van de dijkversterking eenvoudiger wordt en sneller gaat. Bovendien is de overlast bij aanleg minder, omdat minder zware machines nodig zijn.

Inmiddels is deze manier van damwanden ontwerpen de standaard, vastgelegd in handreikingen die een positief advies kregen van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). De toepassing ervan is gestart. Van: "Nederland heeft met deze ontwikkeling internationaal een visitekaartje op dijkengebied afgegeven." ■

**Wie:** Deltares in samenwerking met overheden, kennisinstituten, ingenieursbureaus en aannemers.

**Looptijd:** van eerste idee tot ontwerphandreiking: tien jaar.

**Budget:** 400.000 euro TO<sub>2</sub>-Rijksbijdrage op een totaal van 8 miljoen euro voor 2017-2019 (waarvan het grootste deel voor de veldproef).

**Vervolg:** modellen worden nu gebruikt voor toepassing.





**Probleem:** de juiste combinatie van medicijnen voor hiv-patiënten vinden is lastig. Patiëntgegevens helpen voorspellen hoe goed een medicijn zal aanslaan, maar door privacywetgeving zijn deze data moeilijk te delen.



**TO2-oplossing:** TNO, de Universiteit van Amsterdam en het Centrum voor Wiskunde en Informatica ontwikkelden een versleutelmethode die zorgt dat artsen met gevoelige data kunnen rekenen, zonder deze ooit in te zien.



**Verwachte impact:** optimale behandelingen voor hiv-patiënten zorgen voor minder bijwerkingen, een betere levenskwaliteit en wellicht goedkopere medicijnen. De methode kan ook andere complexe behandelingen verbeteren, zoals diabetes type 2.

# Patiëntgegevens versleutelen om de juiste behandeling voor hiv te ontcijferen

TNO

Hiv behandelen is complex: de verkeerde behandeling zorgt voor bijwerkingen en kan het virus sneller laten muteren. Het Centrum voor Wiskunde en Informatica, de Universiteit van Amsterdam en TNO ontwikkelden een systeem dat artsen helpt de juiste combinatie van medicijnen te vinden.

In Nederland leven zo'n 23.100 hiv-patiënten. De behandeling bestaat uit een combinatie van verschillende medicijnen die het virus remmen en precies op de patiënt afgestemd moeten zijn. Hiv heeft namelijk miljoenen variaties en er zijn veel verschillende geneesmiddelen voor.

Onderzoeker Thomas Attema van TNO legt uit: "De genetische opmaak van het virus bepaalt hoe effectief medicijnen zijn. Dat kan verschillen van patiënt tot patiënt. Daarnaast kan het virus onder invloed van geneesmiddelen muteren en resistent worden. Dat proces wil je zo lang mogelijk uitstellen, maar het luistert heel nauw."

## Data

Hoe bepaalt een arts welke medicijnen het beste werken voor een individuele patiënt? Met data. Clinical Decision Support Systems (CDSS) ondersteunen artsen bij het nemen van complexe beslissingen over de behandeling van hiv-patiënten. Deze systemen proberen de effectiviteit van behandelingen te voorspellen op basis van



resultaten uit klinische onderzoeken. Hoe meer data, des te nauwkeuriger de voorspelling. Attema: "Het liefst wil je ook gegevens over de behandeling van andere patiënten gebruiken. Hoe lang ze een bepaald medicijn gebruikten voordat het virus muteerde bijvoorbeeld, of welke bijwerkingen optraden. Dat is hele waardevolle informatie. Deze privacygevoelige data is helaas moeilijk te delen met andere ziekenhuizen of behandelaars." In theorie kan een vertrouwde derde partij de patiëntgegevens bekijken, de effectiviteit van een toekomstige behandeling voorspellen en het resultaat delen met de arts. Alleen al vanwege privacywetgeving is zo'n oplossing niet haalbaar.

### Barrière

Het Centrum voor Wiskunde en Informatica, de Universiteit van Amsterdam en TNO hebben samen een manier ontwikkeld om privacygevoelige patiëntdata toch veilig te gebruiken in CDSS. De drie hebben gewerkt aan een Clinical Decision Support

System dat werkt met versleuteling oftewel cryptografie. Het werkt dankzij Secure Multi-Party Computation (MPC), een cryptografisch protocol. "Dat noemen we ook wel cryptomagie", vertelt Attema. "Onderschept iemand de data, dan kan hij er niets mee." Met MPC is een belangrijke barrière in het vinden van de optimale hiv-behandeling overwonnen.

Verbeterde behandelingen zorgen voor minder bijwerkingen, een betere levenskwaliteit en in de toekomst wellicht goedkopere medicijnen. Attema: "Er zijn heel veel verschillende medicijnen voor allerlei stadia van het virus. Sommige zijn een stuk goedkoper. Hoe langer een patiënt die kan gebruiken, des te voordeliger."

### Extra laag

De berekeningen worden uitgevoerd op een grote vercijferde database en er vindt geen data-uitwisseling plaats. Alleen de resultaten van de analyse worden gedeeld. Om te zorgen dat gebruikers deze uitkomst vertrouwen, hebben de onderzoekers een extra laag toegevoegd: die geeft het bewijs dat die berekening ook daadwerkelijk is uitgevoerd.

Attema: "Met dit onderzoek laten we zien dat cryptografie werkt in het medische domein. In ons proof of concept werkten we met fictieve gegevens van 20.000 patiënten, ongeveer het aantal hiv-patiënten in Nederland. Het systeem gaf binnen 24 minuten een uitkomst van de analyse. In een volgende fase willen we het systeem graag verbeteren door te testen met echte patiëntdata."

### Nieuwe werkwijze

Dit systeem vraagt in de toekomst van art-

sen een nieuwe werkwijze, vertelt Attema. "Behandelaars weten vaak veel van hun eigen patiëntenbestand. Die waardevolle data moeten ze gaan invoeren zodat anderen de data ook kunnen gebruiken om behandelingen te verbeteren."

Cryptografie heeft ook de potentie om andere behandelingen te verbeteren zoals diabetes type 2. Attema: "Vergelijkbare systemen kunnen uitkomst bieden bij complexe behandelingen waar veel verschillende medicijnen of variaties van een ziekte bestaan."

Het toepassen van MPC is nog steeds niet gratis. Bovendien bestaan er veel verschillende cryptografische protocollen, elk met voor- en nadelen. Dit betekent dat per toepassing, van hiv tot diabetes, moet worden bekeken welk protocol het beste werkt. De voordelen van verbeterde behandelingen wegen echter op tegen deze nadelen. ■

**Wie:** Philips, het Centrum voor Wiskunde en Informatica, de Universiteit van Amsterdam en TNO.

**Looptijd:** 15 maanden, gestart in zomer 2017.

**Budget:** 588.500 euro.

**Vervolg:** de werking van de versleutelmethode is bewezen. Vervolgonderzoek met echte patiëntdata is nodig om de methode verder te verbeteren. Daarna kan ze ook worden toegepast voor andere complexe behandelingen, zoals diabetes type 2.





**Probleem:** Nederland is niet goed voorbereid op door dieren overgedragen infectieziekten (zoönosen). Dit levert risico's op voor de volksgezondheid.

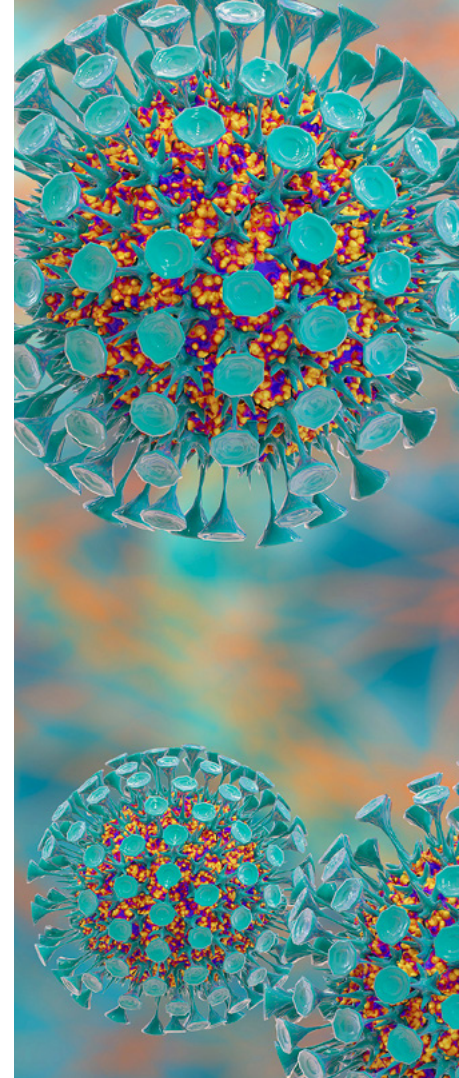


**TO2-oplossing:** WUR maakte kosten-batenanalyses van denkbare maatregelen om epidemieën, veroorzaakt door zoönosen, in de toekomst te voorkomen. Alle bijkomende factoren zijn daarbij in kaart gebracht.



**(Verwachte) impact:** Nederland is beter voorbereid op epidemieën waarbij dieren de bron van besmetting zijn, die in de toekomst mogelijk kunnen worden voorkomen. Het ministerie van LNV maakt inmiddels gebruik van de kosten-batenanalyses van WUR. Zo zijn professionele geitenhouders tegenwoordig verplicht om hun geiten te vaccineren.

# Rem op Q-koorts en Lyme



WUR

Bij infectieziekten als Q-koorts en de ziekte van Lyme zijn dieren de bron van besmetting. Hoe kunnen we beter inspelen op deze zoönosen, onderzoeken virologen van Wageningen University and Research (WUR). Bij het opstellen van interventie-analyses keken ze zowel naar biologische factoren als naar menselijk gedrag. Ook klimaatverandering blijkt een rol te spelen.

In 2008 en 2009 woedde er een hevige epidemie van Q-koorts in Nederland.

Deze infectieziekte geldt al langer als risico tijdens de lammerperiode van melkgeiten en melkschappen. Doorgaans werden jaarlijks zo'n vijftien mensen besmet, met name geitenhouders en hun familieleden. Nu trof de ziekte ineens honderden mensen: 95 patiënten overleden aan de Q-koorts en vele andere werden chronisch ziek.

Hoe kan een zoönose ineens zo sterk opkomen? En als je dat kunt vaststellen, kun je ze dan ook voorspellen en beïnvloeden? Dat zijn de onderzoeksvragen die WUR-viroloog Wim van der Poel stelde. Alle bijkomende factoren werden daarbij in kaart gebracht.

## Sociale factoren

WUR bracht in kaart op welke punten kan worden ingegrepen om epidemieën in de toekomst te voorkomen. Dat

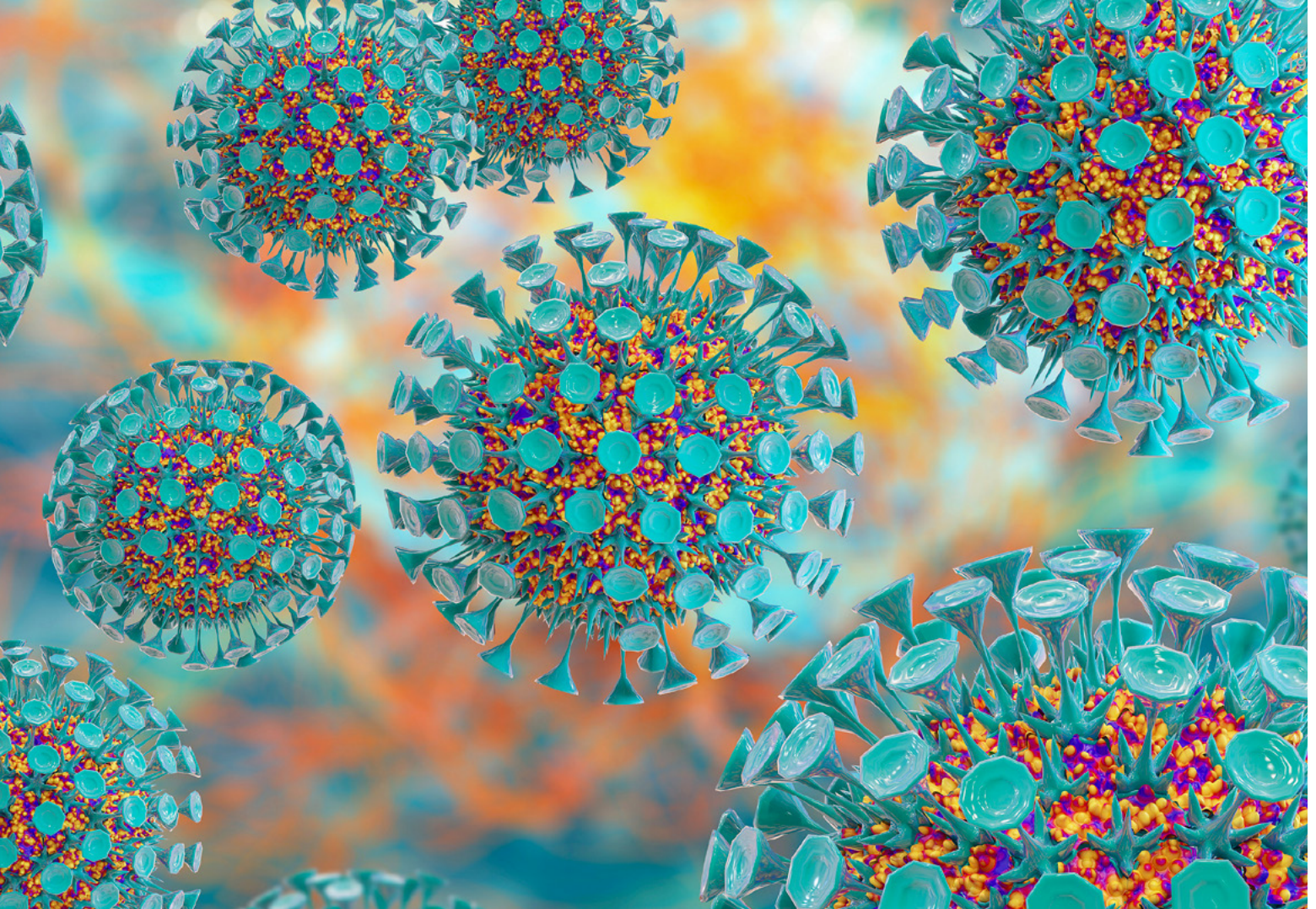
deden ze niet alleen voor Q-koorts, maar ook voor rabiës (hondsdolheid) en de ziekte van Lyme.

Deze laatste wordt veroorzaakt door een ziekmakende bacterie en overgedragen via besmette teken. Door de klimaatverandering schuift het verspreidingsgebied van Lyme langzaam naar het noorden op. Er is geen vaccin voor Lyme. Mogelijke maatregelen kunnen variëren van het terugdringen van de teken door het aanpassen van de begroeiing van natuurgebieden tot het vaker controleren van bezoekers of honden of het afsluiten van natuurgebieden voor publiek.

Volgens Van der Poel kan met vrij simpele middelen – zoals publieksvoorlichting – het aantal infecties al flink verminderen. “We constateren dat het publiek zich steeds beter bewust is van de kans op zoönosen, wat echter niet altijd wil zeggen dat ze







## Nieuw onderzoek moet nog beter voorspellen welke ziekteverwekkers in de toekomst een bedreiging vormen

ook passende maatregelen nemen door bijvoorbeeld lange mouwen en een lange broek te dragen.” Toch ziet hij een verschuiving in het acceptatievermogen. “Bij nieuw opkomende ziekten zijn mensen doorgaans eerder bereid om de adviezen op te volgen dan bij ziekten die al langer bestaan. Dat zijn van die sociale factoren waarmee je óók rekening moet houden.” De onderzoekers maakten een kosten-batenanalyse van denkbare maatregelen, waarbij ook de ‘ziektelast’, zoals het risico om levenslang invalide te worden, wordt meegewogen. Er zijn ook bestrijdingsmiddelen tegen Lyme in ontwikkeling en daarvan wordt eveneens onderzocht wat de kosten



zijn en hoe effectief ze zijn. Het ministerie van LNV maakt inmiddels gebruik van deze kosten-batenanalyses. Zo zijn professionele geitenhouders tegenwoordig verplicht om hun geiten te vaccineren.

### Microbenonderzoek

Inmiddels staat een nieuw onderzoek in de startblokken, om nog beter te kunnen voorspellen welke nieuwe ziekteverwekkers in de toekomst een bedreiging kunnen gaan vormen. Daarbij betrekken de onderzoekers naast de genoemde biologische en sociaaleconomische factoren ook de microben die van nature in mens of dier aanwezig zijn. Die microben samen worden microbioom genoemd.

Van der Poel: “Wij vermoeden dat die microbiële samenstelling een rol kan spelen bij het verklaren van individuele verschillen in vatbaarheid voor infectieziekten. Het leeuwendeel van de microben die wij met ons meedragen is vol-

strekt onschuldig. Grote vraag is waarom een kleine hoeveelheid ziekteverwekkers ineens zo de overhand kan krijgen.” Een nieuw en spannend onderzoeksveld. “Als we beter begrijpen hoe dat palet van micro-organismen ontstaat, kunnen we het overdragen van infectieziekten en ontstaan van antibioticaresistentie beter tegen gaan.” ■

**Wie:** WUR in samenwerking met infectieziektedeskundigen van het RIVM, GGD, de faculteit Diergeneeskunde, dierenartsen van het NVWA/Veterinair Incidenten- en Crisiscentrum (VIC) en de Gezondheidsdienst voor Dieren (GD).

**Looptijd:** doorlopend.

**Vervolg:** onderzoek naar huidige en nieuwe opkomende zoönosen als gevolg van klimaatverandering.





**Probleem:** nieuwe geneesmiddelen ontwikkelen duurt lang en de kosten zijn enorm. Vaak blijkt laat in het ontwikkeltraject dat een kandidaat-medicijn toch niet veilig is of minder werkzaam dan gedacht.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** TNO ontwikkelde een combinatie van twee technieken – microtracing en Accelerator Mass Spectrometer-technologie – om de effecten van nieuwe medicijnen veel eerder in het menselijk lichaam te testen.



**(Verwachte) impact:** bijdragen aan een efficiëntere zorg. Met de TNO-innovatie kan de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen met jaren worden ingekort. Ook zorgt het voor een verminderd gebruik van proefdieren. Bovendien kunnen farmaceutische bedrijven door in een vroeg traject meer te investeren, in een later stadium miljoenen besparen.



*Een opstelling van de apparatuur van microtracing technologie.*

# Medicijnen sneller uit het lab en in het schap

TNO

De weg die een nieuw medicijn aflegt - van idee tot apotheek - is gemiddeld tien jaar. TNO werkt samen met geneesmiddelenfabrikant Pfizer om dit proces drastisch te versnellen.

Onderzoekers testen nieuwe geneesmiddelen vaak en veel voordat ze de markt op mogen. Eerst in het lab en uiteindelijk op proefpersonen. Vaak blijkt laat in het ontwikkeltraject dat een kandidaat-medicijn toch niet veilig is of minder werkzaam dan gedacht. Nieuwe geneesmiddelen ontwikkelen duurt daardoor lang en de kosten zijn enorm.

De Raad voor Volksgezondheid en Samenleving kaartte deze problemen eind 2017 in een rapport aan. Het proces kan volgens hen sneller, beter en goedkoper.

## Microtracing

Een manier om dit te doen is met de Accelerator Mass Spectrometer-technologie van TNO. Het Amerikaanse farmaceuti-

sche bedrijf Pfizer werkt hier nu twee jaar mee. Met succes: Pfizer heeft vier studies afgerond en er staan nieuwe onderzoeken op de planning.

Hoe werkt het? Onderzoekers voegen in een vroeg stadium een hele lage dosis van de radioactieve stof van het geneesmiddel toe aan de gebruikelijke dosering bij een kleine groep gezonde vrijwilligers. Dat heet microtracing. Vervolgens onderzoeken ze met AMS - een gevoelige meetmethode - wat het menselijk lichaam met een medicijn doet en hoe het medicijn het lichaam weer verlaat. De combinatie van deze twee technieken vermindert het gebruik van proefdieren en – misschien wel het belangrijkste - verkort het ontwikkeltraject van nieuwe medicijnen. Deze aanpak maakt gegevens over concen-

tratie en effecten van stoffen jaren eerder beschikbaar dan klassieke methoden. Zo kunnen onderzoekers veel sneller nauwkeurig inschatten of een kandidaat-geneesmiddel kans van slagen heeft.

## Snel analyseren

TNO is de enige organisatie in Europa die gebruik maakt van biomedische AMS. Het instituut heeft al veel diensten ontwikkeld op het gebied van medicijnverwerking in het lichaam. Bovendien kan TNO monsters snel analyseren en terugkoppelen naar het klinische team van Pfizer.

AMS en microtracing veranderen de volgorde van het klassieke ontwikkeltraject van medicijnen behoorlijk. Overschakelen is dus wel nog spannend voor farmaceutische bedrijven. Durven ze eenmaal in een vroeg traject meer te investeren, dan kunnen ze in een later stadium miljoenen of zelfs miljarden besparen. ■

**Wie:** TNO en farmaceutisch bedrijf Pfizer.

**Looptijd:** 1-3 maanden.

**Budget:** Vanaf 100.000 tot 600.000 euro.

**Vervolg:** inmiddels werkt TNO nog veel meer met Pfizer in onder meer preklinische studies.



**Probleem:** het dark web is geliefd bij criminelen: ze wanen zich er anoniem en dus ongrijpbaar. Op speciale marktplaatsen - dark markets - verhandelen ze illegale goederen zoals drugs, wapens of kinderporno in ruil voor digitale valuta.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** TNO ontwikkelt technieken om anonieme digitale portefeuilles aan criminelen en hun organisaties te koppelen.



**(Verwachte) impact:** bijdragen aan criminaliteitsbestrijding. Criminelen zijn met de hulp van TNO online op te sporen en dus offline te vervolgen.

# Criminelen betrappen op het dark web

TNO

Criminelen wanen zich anoniem op het dark web. En dus veilig. Met hulp van TNO krijgt de overheid steeds meer inzicht in dit afgeschermd deel van het internet. Zo koppelen ze criminelen aan 'anonieme' digitale geldstromen en illegale goederen.

Internet is als een oceaan. Het zichtbare deel waarop je surft, bijvoorbeeld via Google, is slechts het bovenste stukje. Een groot deel van het internet bevindt zich 'onder water'. Dit heet het deep web. Het deep web is niet zichtbaar voor gewone zoekmachines en alleen toegankelijk voor personen die het exacte webadres hebben of een gebruikersnaam met wachtwoord. Hier bevinden zich bijvoorbeeld databases van bedrijven of organisaties.

## Dark web

Een deel van het deep web is nog verder verborgen. Dit 'duistere' internet heet het dark web. Met normale browsers zoals Chrome, Firefox of Edge kom je er niet. Hier heb je speciale software voor nodig, zoals de TOR-browser. Gebruikers van dit netwerk zijn zo goed als anoniem en daardoor lastig te traceren. Dat maakt het dark web geliefd bij criminelen. Op speciale marktplaatsen - dark markets - verhandelen ze illegale goederen zoals drugs, wapens of kinderporno in ruil voor digitale valuta. Met cryptomunten als bitcoin kan relatief anoniem worden betaald. Zo wanen criminelen zich op het dark web ongrijpbaar.

## Specialistische kennis

Om misdaad op het dark web te bestrijden werken cybercrime-onderzoekers van TNO

nauw samen met opsporingsdiensten en het Openbaar Ministerie. TNO heeft specialistische kennis over dark markets en bijbehorende betaalmiddelen zoals bitcoin en monero in huis. Ook werken de onderzoekers aan technieken om deze digitale geldstromen in kaart te brengen. De moeilijkheid is om de anonieme digitale portefeuilles aan criminelen en hun organisaties te koppelen. Daar zijn gelukkig manieren voor. Zo moeten gebruikers hun digitale geld vroeg of laat inwisselen voor echt geld of goederen. Dan verliezen ze hun anonimiteit en zijn ze kwetsbaar. Toegepast onderzoek levert op deze manier een praktische bijdrage aan criminaliteitsbestrijding. En andersom: de onderzoekers putten uit geanonimiseerde informatie van justitie en de politie die normaal gesproken ontoegankelijk voor hen is en kunnen daarmee hun technieken verbeteren. ■

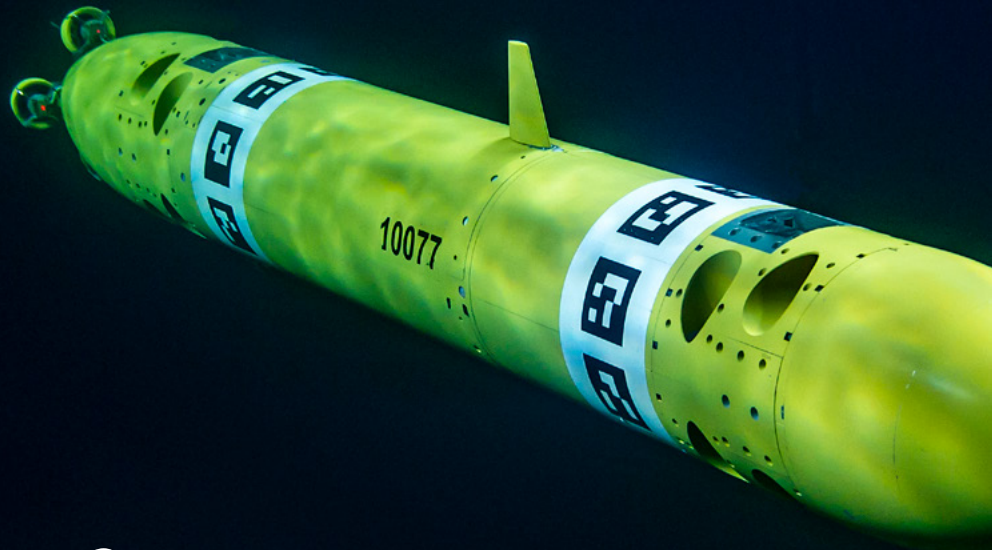
**Wie:** TNO, Openbaar Ministerie en opsporingsdiensten.

**Looptijd:** 2018 - 2021.

**Vervolg:** dit onderzoek past in de bredere samenwerking tussen TNO en opsporingsdiensten.







# Efficiënte inzet vaartuigen door autonoom varen



**Probleem:** een grotere inzet van autonome systemen is noodzakelijk, omdat het steeds lastiger wordt om gekwalificeerd personeel te vinden. Daarnaast kunnen autonome systemen saai, vies of gevaarlijk werk van mensen kosteneffectief overnemen.



**TO2-oplossing:** MARIN start in samenwerking met TNO en NLR verschillende projecten voor onderzoek naar autonoom varen, zoals de ontwikkeling van de mAUV, een onderwatervaartuig dat zelfstandig opdrachten gaat uitvoeren.



**(Verwachte) impact:** het zorgt op termijn voor een efficiëntere scheepvaart en maakt nu nieuwe toepassingen mogelijk, zoals het bewaken van belangrijke onderwater elektriciteitsleidingen van windparken die steeds meer onze primaire energievoorziening worden.

MARIN,  
TNO, NLR

Vergrote autonomie zorgt voor een efficiënte inzet van vaartuigen: van het zelfstandig inspecteren van kademuuren tot het opsporen en onklaar maken van zeemijnen. MARIN ontwikkelde de mAUV, de eerste stap op weg naar autonoom varen.

Autonome vaartuigen? De naam zegt het al: net als zelfsturende auto's zijn het vaartuigen die zonder bemanning zelfstandig varen en opdrachten uitvoeren. De verwachting is dat autonoom varen uiteindelijk ook bijdraagt aan een efficiëntere inzet van schepen. Autonome systemen kunnen de mens helpen bij het verrichten van "dull, dirty & dangerous jobs". En in sommige gevallen een vierde d: "distant". Dat zijn situaties waar bediening door de mens geen optie is en op afstand bedienbare en gemonitorde systemen het overnemen. Als een van de redenen voor de introductie van autonome schepen wordt vaak het vergroten van de veiligheid genoemd. De mens mag dan volgens de statistieken

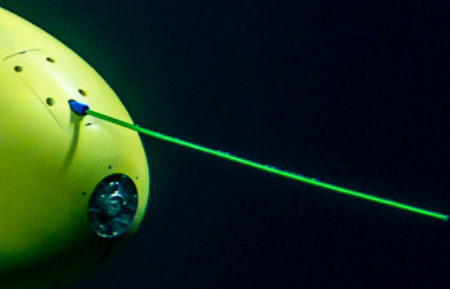
relatief vaak direct of indirect betrokken zijn bij ongevallen op zee, er worden ook veel ongevallen voorkomen juist doordat er mensen aan boord zijn. Van dat laatste worden er alleen geen statistieken bijgehouden. "Het streven is om in ieder geval een vergelijkbaar niveau van veiligheid te bereiken", zegt Egbert Ypma, teamleider Automony & Decision Support van MARIN.

#### Onder water: mAUV

MARIN heeft in samenwerking met TNO en NLR verschillende projecten opgestart voor onderzoek naar autonoom varen. Het Wageningse onderzoeksinstituut ontwikkelde vorig jaar de mAUV: het modular, of multifunction, Autonomous Underwater Vehicle. Dit onderwatervaartuig heeft het

uiterlijk van een torpedo en kan nauwkeurig een baan onder water volgen. Daarnaast heeft het de mogelijkheid om in stroom en golven op zijn plek te blijven. Autonome functies worden volgend jaar toegevoegd. "De combinatie van deze eigenschappen maakt een veelvoud van toepassingen mogelijk", vertelt Ypma. "In de volgende fase gaan we verschillende scenario's uitvoeren. Een daarvan is dat een torpedo die we vanuit een onderwatervaartuig lanceren, weer zelfstandig kan terugkeren in de lanceerbuis." Zo zijn veel toepassingen mogelijk. Denk aan de onderwaterinspectie van kademuuren en schepen, maar ook het in kaart brengen van de zeebodem, wat een rol kan spelen in het opsporen, identificeren en onklaar maken van zeemijnen. Maar

**Op een brugsimulator is getest om beslisgedrag van een autonoom systeem te vergelijken met een 'menselijke' kapitein**



*De mAUUV: het modular, of multifunction, Autonomous Underwater Vehicle*



*Dit testvaartuig wordt ingezet om tests uit te voeren met autonome systemen.*

ook autonome onderwater patrouilles zijn mogelijk om de veiligheid van de vaarroutes en leidingen te garanderen. Om deze langdurige missies mogelijk te maken, is het onderwater opladen van de batterijen erg belangrijk. Dat geldt ook voor het goed kunnen controleren van positie en snelheid.

#### **Aan de oppervlakte**

Met kleine vaartuigen worden de eerste stappen gezet, voor de grote schepen op zee is volledig autonoom varen nog lang geen werkelijkheid. Om kennis te vergaren, werken in het Joint Industry Project Autonomous Shipping bijna twintig bedrijven, kennis- en onderwijsinstellingen en overheden samen aan onderzoek naar autonoom varen. "Wij hebben voor dit project testen gedaan op onze brugsimulator om beslissinggedrag van een autonoom systeem te vergelijken met een 'menselijke' kapitein", aldus Egbert Ypma.

Afgelopen jaar heeft MARIN een vaartuig (RHIB) ontwikkeld en ingezet om tests uit te voeren met autonome systemen.

Dit testvaartuig speelt een belangrijke rol bij het evalueren van de automatiseringssystemen aan boord van autonome schepen. Een voorbeeld daarvan zijn de beslisalgoritmen die aanvaringen moeten voorkomen. Deze moeten zich voorspelbaar gedragen, rekening houden met de aanvaringsregels op zee (COLREGS). Indien nodig moeten ze daarvan kunnen afwijken, omgaan met onzekere informatie en flexibel genoeg zijn om complexe situaties het hoofd te bieden.

#### **Data-uitwisseling**

Bij de introductie van maritieme autonome vaartuigen gaat het niet alleen om het vaartuig zelf, maar ook om de 'omgevingsfactoren' cyber security, het eigenaarschap van de data en de standaardisatie van data-uitwisseling. Dit laatste is nodig om deze schepen te monitoren, maar ook om een veilige en efficiënte verkeersafwikkeling mogelijk te maken. Verschillende partijen moeten hierbij betrokken zijn: de Kustwacht, het Loodswezen, de havendiensten, het schip zelf, de scheepsrede-

rijen en het walstation wat het autonome schip in de gaten houdt en de controle kan overnemen. De samenwerking en de rol van deze partijen zal veranderen. Belangrijke onderzoeksvragen zijn hoe dit in goede banen geleid kan worden, welke informatie elke partij nodig heeft, en hoe dit beschikbaar en gepresenteerd moet worden en wie voor wat verantwoordelijk is. De simulatiemodellen en faciliteiten van MARIN zijn hierbij een onmisbaar instrument. ■

**Wie:** MARIN, in samenwerking met andere partijen (overheid, onderzoeksinstituten TNO, NLR, maritiem bedrijfsleven – nationaal & internationaal).

**Looptijd:** mAUUV is in 2018 ontwikkeld en krijgt in 2020 (en de jaren daarna) nieuwe autonome toepassingen.

**Budget:** 800.000 euro tot nu toe. Per jaar wordt gekeken hoeveel budget er nodig is voor vervolgprojecten.





**Probleem:** vliegtuigen onderhouden is cruciaal voor de veiligheid van passagiers. Controles vergen veel tijd en kennis. Aangezien steeds meer mensen vliegen, zijn er in de toekomst meer vliegtuigen én goed geschoolde technici nodig.



**TO2-oplossing:** NLR bedacht drie innovaties om vliegtuigen slimmer te onderhouden. Ze vergroten de beschikbaarheid van vliegtuigen, door tijd aan de grond te verkleinen.



**(Verwachte) impact:** door slimmer onderhoud de inzetbaarheid van vliegtuigen vergroten. Hierdoor zijn minder extra technici en vliegtuigen nodig. Zo kan aan de toenemende vraag om vluchten worden voldaan én blijven de kwaliteit en veiligheid gegarandeerd.



## Veiligen efficiënter vliegen begint aan de grond

NLR

**Vliegtuigen staan voor onderhoud vaak aan de grond. NLR ontwikkelt drie tools om vliegtuigen slimmer te onderhouden, en zo meer te laten vliegen.**

Controles, reparaties, onderhoudsbeurten en inspecties van losse onderdelen; vliegtuigen onderhouden en controleren vergt veel tijd en kennis.

Aangezien steeds meer mensen vliegen, zijn er in de toekomst meer vliegtuigen nodig én goed geschoolde technici om ze te onderhouden. Gebrek aan technisch personeel en de toenemende vraag om vluchten eist veel van spelers op de civiele en militaire luchtvaart, ook om dit niet ten koste te laten gaan van de kwaliteit en veiligheid.

### Drie innovaties

Wat als ze hun vloot niet hoeven uit te

breiden, door de vliegtuigen die ze al hebben vaker te laten vliegen? NLR ontwikkelt drie innovaties die de beschikbaarheid van vliegtuigen vergroten, door tijd aan de grond te verkleinen.

**1** Onderhoud afstemmen op vluchtschema's, in plaats van andersom. Blokken met groot onderhoud zijn makkelijk te plannen maar houden een vliegtuig lang aan de grond. Daarom ontwikkelt NLR FlexPlan: Flight schedule driven maintenance planning. FlexPlan werkt met kunstmatige intelligentie (AI). De software leest en interpreteert de onderhoudsplanning. Het knipt groot onderhoud op in kleine, optimaal geclusterde taakpakketten en plant die tussen vluchten door. Zo verbetert de beschikbaarheid van een vliegtuig.

**2** Falende onderdelen sneller opsporen en reparaties voorspellen. Vliegtuigtechnici die defecten of klachten moeten oplossen, hebben vaak geen inzicht in de voorgeschiedenis ervan. Failure Diagnostics using eXplainable Artificial Intelligence helpt ze de juiste diagnose stellen. Deze slimme software, met de naam FD XAI, kijkt naar faalwijzen van eerdere reparaties en het vliegtuiggebruik om de werkelijke

fout te bepalen met behulp van kunstmatige intelligentie. Vervolgens legt de software uit waarom het de ene fout vaststelt, en niet een andere. Dit helpt technici de diagnose te begrijpen en te vertrouwen.

**3** Impact van onderhoudskosten beter in kaart brengen. Onderhoudsmensen, operators en eigenaren van vliegtuigen vinden het moeilijk om de kosten van onderhoud en de beschikbaarheid van de vloot in te schatten. Onderhoud is onzeker: je weet van te voren niet wanneer een klacht optreedt en wat de gevolgen zullen zijn. Daarnaast hebben beslissingen over onderhoudsoperaties vaak meerdere effecten. Aircraft availability and resource estimator (aare) helpt managers beslissingen te nemen in onzekerheid. ■

**Wie:** NLR in samenwerking met gebruikers.

**Looptijd:** 2017 tot nader te bepalen einddatum.

**Budget:** uit eigen middelen.

**Vervolg:** NLR is in gesprek over het verder ontwikkelen van de tools in samenwerking met enkele gebruikers.



**Probleem:** buigbare schermen maken is duur en ingewikkeld. Vaak gaat er iets mis tijdens het productieproces waardoor veel schermen worden weggegooid.



**TO<sub>2</sub>-oplossing:** nieuwe technologie ontwikkeld door TNO om buigbare schermen te maken voor de productie van flexibele, uitklapbare of zelfs volledig oprolbare smartphones.



**(Verwachte) impact:** hiermee kun je bepaalde lagen voor OLED-schermen vijftig tot honderd keer sneller produceren, met als resultaat minder productiefouten en hogere opbrengsten. Naast smartphones, waar de focus nu op ligt, kan deze technologie in de toekomst mogelijk ook worden ingezet voor de productie van OLED TV's.

# Beeldschermen opnieuw uitgevonden

TNO

Telefoons met buigbare schermen, ze bestaan al. De technologie om ze te maken heeft nog wat haken en ogen. In Eindhoven ontwikkelt een startup met hulp van TNO een machine die flexibele schermen veel sneller en beter kan maken.

Het scherm van je smartphone is opgebouwd uit verschillende lagen. Meer en meer schermen bevatten Organic LEDs, oftewel OLED, die heel erg dun zijn. Hoe dunner de lagen, hoe makkelijker te buigen. Maar hoe maak je de lagen ultradun? En bovendien sterk genoeg én betaalbaar én geschikt voor massaproductie?

## SALD

Verscheidende techbedrijven buigen zich over die vraag. Ook TNO heeft ruim tien jaar aan een oplossing gewerkt, in het Holst Centre in Eindhoven. Ze ontwikkelden een volledig nieuwe technologie: Spatial Atomic Layer Deposition (SALD). Hiermee kun je bepaalde lagen voor OLED-schermen vijftig tot honderd keer sneller produceren dan met 'traditionele' atomic layer deposition. Plasma is hierbij het magische ingrediënt. Dat voegt extra energie toe en versnelt zo het proces. Bovendien kan SALD zorgen voor minder productiefouten. Dat houdt in dat veel minder kapotte schermen hoeven worden weggegooid. Een paar procent verbetering kan al leiden tot tientallen miljoenen euro's meer aan opbrengst. De meeste schermfabrieken staan echter al vol met machines. In deze industrie moet een technologie zich eerst op alle moge-



## SALDtech is in gesprek met alle grote OLED-fabrikanten om deze technologie te laten testen

lijke manieren bewijzen voordat er een nieuwe machine in de productielijn wordt opgenomen. Om innovaties versneld op de markt te brengen heeft TNO het Tech Transfer Programma. SALDtech is een start-up die hieruit voortgekomen is. TNO is een van de aandeelhouders in de startup en nauw betrokken bij de verdere ontwikkeling van de technologie. SALDtech werkt op dit moment aan de ontwikkeling van een SALD-productie machine voor OLED-beeldschermen voor smartphones. SALDtech is in gesprek met alle grote OLED-fabrikanten om deze technologie te laten testen. De technologie heeft veel potentie, maar

moet in het juiste tempo kunnen groeien. Zo moet het bedrijf zorgen dat er straks genoeg servicemonteurs beschikbaar zijn in de Aziatische landen waar het merendeel van de machines komt te staan.

## Oprolbare smartphones

In eerste instantie zullen fabrikanten de machines van SALDtech vooral gebruiken voor de productie van flexibele, uitklapbare of zelfs volledig oprolbare smartphones. De technologie levert zoveel voordelen op in tijd en kosten dat ze ook een interessante optie kan worden voor de productie van OLED TV's. ■

**Wie:** TNO en startup SALDtech.

**Looptijd:** het bedrijf SALDtech is in 2018 opgericht.

**Vervolg:** met SALD kunnen fabrikanten sneller en goedkoper buigbare schermen maken voor allerlei devices, maar ook platte schermen. In de toekomst kunnen producenten dus ook met andere ogen naar de productiewijze van traditionele beeldschermen gaan kijken.





**Probleem:** planten zijn zonder bestrijdingsmiddelen onvoldoende opgewassen tegen onkruid, ziekten, plagen en klimaatveranderingen. Een oplossing is nodig die telers helpt minder afhankelijk te zijn van chemische gewasbescherming.



**TO2-oplossing:** WUR maakt onderdeel uit van een samenwerkingsverband (NPEC) dat met behulp van sleuteltechnologieën, zoals robotica, sensortechnologie en bio-informatica, in kaart brengt hoe planten zich onder verschillende omstandigheden gedragen en welke rol genetica daarbij speelt (digitale fenotypering).



**(Verwachte) impact:** de resultaten van het onderzoek worden gebruikt voor de ontwikkeling van slimme tools voor de duurzame landbouw die ervoor zorgen dat telers minder afhankelijk worden van chemische gewasbescherming. Naast kennis over duurzame teelmaatregelen en -systemen, leidt het onderzoek ook tot verbeterde plantensoorten. Ze zijn bijvoorbeeld beter aangepast aan veranderende klimaatomstandigheden. Of ze komen tegemoet aan de hogere eisen aan plantsoorten, zoals meer opbrengst onder meer duurzame teeltoomstandigheden.



# Op weg naar meer robuuste planten

WUR

Welke factoren spelen een rol bij de groei van planten in het veld? Het antwoord op deze vraag kan leiden tot meer robuuste soorten, die minder gewasbescherming vragen. In een ultramoderne onderzoeksfaciliteit onderzoekt Wageningen University & Research (WUR) hoe planten onder verschillende omstandigheden presteren.

Om planten gezond te houden, zijn gewasbeschermingsmiddelen nodig, maar het liefst zo weinig mogelijk. De landbouwsector heeft hierin de afgelopen decennia flinke stappen gemaakt. De dosering kon in veel gevallen omlaag en de middelen werden minder belastend voor het milieu. Met deze aanpak is de grens bereikt, daarom is het tijd om naar andere mogelijkheden te kijken. Alternatieve bestrijdingsmiddelen bijvoorbeeld. Bij voorkeur zonder dat dit de opbrengst verlaagt. Zo zijn er op dit moment geen aardappelrassen die resistent zijn tegen schimmels (*P. infestans*) en aaltjes (*G. pallida*).

In een ultramoderne onderzoeksfaciliteit van het Nederlandse Plant Eco-phenotyping Center (NPEC) ontrafelen onderzoekers de genetica achter de interacties tussen de omgeving en plantgenen. Dit noemen we fenotypering. Nauwkeurige studies van plantprestaties in klimaatkamers en kassen en op het veld, leggen de relaties bloot



## “GROEN”

De resultaten uit het fundamentele onderzoek van NPEC worden in de praktijk uitgewerkt in het project “GROEN” (Gewasbescherming Robuust Optimaal Economisch & Natuurlijk). Een publiek-private samenwerking tussen WUR (coördinator) en telers, zaadleveranciers, verwerkers van akkerbouwproducten, producenten van gewasbeschermingsmiddelen en natuurorganisaties. Samen ontwikkelen zij tools voor duurzame vollegrondsteelt. Deze worden vervolgens getest op de proeftuin voor AgroEcologie en Technologie in Lelystad.

tussen relevante factoren. Het gaat daarbij zowel om biotische (microbioom interacties, competitie, ziekte) als abiotische (lichthoeveelheid en kwaliteit, voedingsstoffen, temperatuur, vocht, bodem pH en atmosferische CO<sub>2</sub>-niveau) factoren.

### Nieuw domein

In de NPEC-faciliteit wordt informatie over het plantfenotype verzameld door geautomatiseerde systemen. Digitale fenotypering van planten is een relatief nieuw domein binnen de plantenwetenschappen. Bij het in kaart brengen van anatomische, fysiologische en biochemische eigenschappen zetten de onderzoekers sleuteltechnologieën in, zoals robotica, sensortechnologie en bio-informatica. Om meer inzicht te krijgen in de reactie van planten op hun omgeving en de genetische beheersing daarvan, voert NPEC grootschalige en nauwkeurige monitoring uit om de benodigde gegevens te genereren en te verzamelen. Denk aan de wisselwerking tussen

## Worden nieuwe genen gevonden dan kunnen hiermee rassen verbeteren

planten en het microbioom (micro-organismen zoals bacteriën, virussen en gisten), de onderlinge strijd van planten, plantenziekten en blootstelling aan een veelheid van variabele abiotische omgevingscondities, zoals lichtkwaliteit, stralingsniveaus, toevoer van voedingsstoffen, temperatuur, vochtigheid, zuurtegraad van bodem en CO<sub>2</sub>-niveau in de atmosfeer.

### Quinoa

NPEC werkt met zes modules om de fenotypes goed te meten. Elk met specifieke mogelijkheden om de plant-omgevingsinteractie te bestuderen. Variërend van het moleculaire niveau tot de groei van een gewas in het veld. Worden nieuwe genen gevonden dan kunnen hiermee rassen

verbeteren. Ze zijn hierdoor bijvoorbeeld beter aangepast aan veranderende klimaatomstandigheden. En kunnen tegemoetkomen aan de hogere eisen aan plantsoorten, zoals meer opbrengst onder meer duurzame teeltomstandigheden. Zo wordt bijvoorbeeld gekeken naar de (hoge) zouttolerantie van verschillende quinoa-rassen. Bij ‘normale’ planten leidt een hoge opname van zout ertoe dat de plant verwelkt. Onderzoek moet uitwijzen wat het geheim is van deze plantsoort. ■

Meer info op: [www.npec.nl](http://www.npec.nl)

**Wie:** NPEC, een samenwerkingsverband tussen WUR, Universiteit Utrecht en NWO.

**Looptijd:** PPS ‘GROEN’ 2017-2021, NPEC sinds 2018.

**Budget:** TO2-Rijksbijdrage in combinatie met andere financiers.





**Probleem:** het aandeel windenergie in Nederland en daarmee het aantal windmolens op zee zal de komende jaren sterk toenemen. Controle en onderhoud van windturbines op zee kost echter veel tijd en geld. Een slimme oplossing voor dit onderhoudsvraagstuk is hard nodig.



**TO2-oplossing:** Samen met partners als ECN part of TNO, TU Delft en Hogeschool Zeeland werkt NLR aan een drone uitgerust met de nieuwste sensoren bestuurbaar vanaf een schip die zelfstandig inspecties en reparaties aan bladen van windturbines kan uitvoeren.



**(Verwachte) impact:** de drone zorgt ervoor dat onderhoud van windturbines goedkoper en efficiënter wordt. Data die de drone verzamelt, kan in de toekomst helpen voorspellen wanneer onderhoud nodig is en voorkomen dat turbines onverwachts stil komen te staan.



# Drone als nieuwe inspecteur van windparken op zee

NLR, ECN  
part of TNO

3.240 Windmolens staan in 2020 op de Noordzee, sommige meer dan honderd kilometer van de kust. Onderhoud is duur en tijdrovend. Het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) werkt aan een drone die de witte wieken zelfstandig kan inspecteren en schade kan herstellen.

## De drone moet niet alleen nauwkeurig kunnen vliegen. Hij moet stabiel stilhangen, landen op de wieken en zelfs erop rondrijden

wen afdalen langs het turbineblad, soms op wel honderdtwintig meter hoogte. Wat als je de wieken kunt inspecteren en repareren vanaf de grond? NLR werkt met zestien partijen aan een ambitieuze drone – een soort onbemande helikopter – voor Automatische Inspectie en Reparatie van Turbinebladen (AIRTuB). Deze is te besturen vanaf een schip. De drone vliegt naar elke windturbine en inspecteert de bladen met speciale sensoren. De data wordt opgeslagen: daarmee is beter te voorspellen wanneer onderhoud nodig is.

### Stabiel stilhangen

Het plan klinkt eenvoudig, de praktijk is complex. Jooisse: “De drone moet niet alleen nauwkeurig kunnen vliegen. Hij moet stabiel stilhangen, landen op de wieken en zelfs erop rondrijden. En dat alles zonder weg te waaien.” Dat vraagt veel van het prototype. NLR bouwt de drone en Hogeschool Zeeland werkt aan een crawler, een systeem voor onder de drone waarmee hij over het blad kan rijden.

“We hebben het over een gevaarte van wel twee bij twee meter”, aldus Jooisse. “De drone moet verschillende sensoren dragen en weegt al gauw veertig kilo. Zoiets laten landen op een smal blad op honderdtwintig meter hoogte, vanaf een klein bootje op ruwe zee... dat is bijna een maanlanding.” De drone draagt bijvoorbeeld meerdere camera's om een nauwkeurig 3D-beeld te maken van de buitenste laag. Daarnaast krijgt hij een sensor die werkt als een soort echo, om de binnenste lagen te inspecteren waarvoor hij contact met het blad moet hebben.

Jooisse: “NLR maakt zulke sensoren al jaren voor inspecties in de luchtvaart. Samen met partners als TU Delft en ECN part of TNO proberen we deze nu zo klein en licht mogelijk te maken zodat ze onder een drone passen.”

### Automatisch landen

Het is de bedoeling dat de drone met deze snuffjes uiteindelijk zijn eigen positie

bepaalt en automatisch kan landen. Maar voorlopig bestuurt de piloot de drone nog, vertelt de ingenieur. “We gaan hem eerst testen op het dronecentre van NLR. Daar moet hij landen op een turbineblad. De volgende fase is testen bij een windturbine op het land. Tot slot gaan we met een bootje de zee op om de drone te testen op Amalia, een windpark voor de kust van Scheveningen. Binnen drie jaar hopen we al deze tests af te ronden.”

De data die de drone verzamelt zal worden gebruikt om een model van erosie te maken. “Hoe snel een blad op een bepaalde locatie slijt, dat weten we nog niet.

We gaan een blad plaatsen in onze windtunnel en kijken hoe de schade zich daar ontwikkelt.” Dat combineert NLR met de drone-data in een computermodel. Zo kun je schadeontwikkeling voorspellen en daar inspecties en onderhoud op afstemmen. “Het liefst plan je onderhoud op dagen dat het minder hard waait. Het kan er ruig aan toe gaan op zee. Deze drone moet voorkomen dat een turbine onverwachts stil komt te staan en je dagen moet wachten tot de wind gaat liggen voor reparatie. Dat is zonde van de energie.” ■

Op zee waait het hard en vaak: ideale omstandigheden voor het opwekken van groene energie. In rap tempo leggen Nederland en andere Europese landen windparken aan op zee om huishoudens van duurzame stroom te voorzien. Door regen, ijs en zout slijten de bladen van de turbines (de wieken van de molen). Er komen bijvoorbeeld putten in de voorste rand van het blad of er ontstaat schade aan de verschillende lagen kunststof waaruit een blad is opgebouwd. “Daardoor gaan de bladen langzamer draaien en kan uiteindelijk de generator of het mechaniek beschadigen”, legt Martin Jooisse van NLR uit.

### AIRTuB

Controle en onderhoud van windturbines op zee is dus essentieel, maar kost veel tijd en geld. Zo zijn er meerdere specialisten nodig: twee of drie man moeten aan tou-

**Wie:** NLR, ECN part of TNO en vijftien partners waaronder Eneco, TU Delft, drie hogescholen en verschillende bedrijven en stichtingen.

**Looptijd:** september 2019 tot en met december 2022.

**Budget:** vier miljoen euro, waarvan bijna een miljoen voor de bijdrage van NLR.

**Vervolg:** uiteindelijk wil NLR de drone verder ontwikkelen zodat hij bladen van windturbines zelfstandig kan repareren. Een van de projectpartners, QLayers, werkt al aan een coating die de drone op de bladen kan spuiten voor reparatie.





**Probleem:** het is lastig om snel en zonder laboratorium of elektriciteit bloedtesten te doen (1), lenzen en spiegels in vreemde vormen voor o.a. ruimtevaart zijn onmogelijk op te meten (2) en bij fabricage van chips leidt vervuiling met het allerkleinste deeltje al tot een onbruikbaar product. Maar dat is met het blote oog niet te zien (3).



**To2-oplossing:** TNO werkt samen met de TU Delft aan de ontwikkeling van technologie gebaseerd op licht: fotonica. Dat is de basis voor een optische biosensor die met een druppel bloed een diagnose kan stellen (1), het meetinstrument NANOFEMOS voor vrije vorm optica (2) en particle scanner Fast-micro die de kleinste vuiltjes kan opsporen (3).



**(Verwachte) impact:** technologie voor toekomstig verdienvermogen. Nederland ontwikkelt veel kennis en innovaties op het gebied van fotonica. De fotonische markt groeit de komende jaren wereldwijd naar verwachting met veertig procent en is nu al goed voor 300 Nederlandse bedrijven met een geschatte totale omzet van meer dan vier miljard euro.

# Licht: de oplossing voor bijna alles

TNO

Fotonica. Nederland investeert er veel in, het is een speerpunt in het regeerakkoord en er is zelfs een Nationale Agenda Fotonica. Wat maakt deze technologie zo bijzonder? Drie concrete toepassingen – ontwikkeld in Nederland - laten het zien.

**F**otonica is technologie gericht op het opwekken, transporteren en detecteren van lichtgolven en -deeltjes (fotonen). In allerlei producten en processen speelt licht een belangrijke rol. Denk aan glasvezelkabels voor internet, zonnepanelen, chips voor in je smartphone of sensoren voor precisielandbouw.

De technologie is nog relatief jong en helpt al tal van problemen oplossen. Nederland heeft veel kennis van fotonica en werkt eraan om dit zo te houden. Hiervoor heeft TNO samen met de TU Delft in 2016 het Dutch Optics Centre (DOC) opgericht. Samen met technologische bedrijven en kennisinstellingen werken ze aan innovatieve producten en brengen ze de Nederlandse optische en fotonische kennis verder. Vanuit economisch oogpunt is dit eveneens belangrijk: er zijn bijna driehonderd Neder-

landse bedrijven met een geschatte totale omzet van meer dan vier miljard euro.

Drie voorbeelden van de veelzijdigheid van fotonica:

1

## Diagnoses stellen met één druppel bloed

Met een druppel bloed bepalen of iemand bijvoorbeeld een infectieziekte heeft; TNO ontwikkelt een optische biosensor die dat kan. Ze hebben een manier gevonden om met licht biomarkers op te sporen: eiwitten die bij bepaalde concentraties in bloed, urine of speeksel op ziekten duiden. De biosensor kan zo allerlei kwalen detecteren. Denk aan de multiresistente ziekenhuisbacterie MRSA, het ebola- of zikavirus, maar ook blootstelling aan zenuwgas. Het huidige prototype is nog te groot en

te duur om op grote schaal te produceren. TNO heeft Delta Diagnostics opgericht om de sensor verder te ontwikkelen. DOC helpt ze daarbij. Het idee is om een doosje te maken waarin een wegwerpsensorcartridge met een druppel bloed kan worden geplaatst. Optische sensoren registreren vervolgens binnen een paar minuten welke eiwitconcentraties zich in het monster bevinden en helpen de diagnose stellen.

In acute situaties kun je zo snel vaststellen of iemand een hartaanval of beroerte heeft. Ook in afgelegen gebieden zonder laboratorium of elektriciteit biedt de bio-

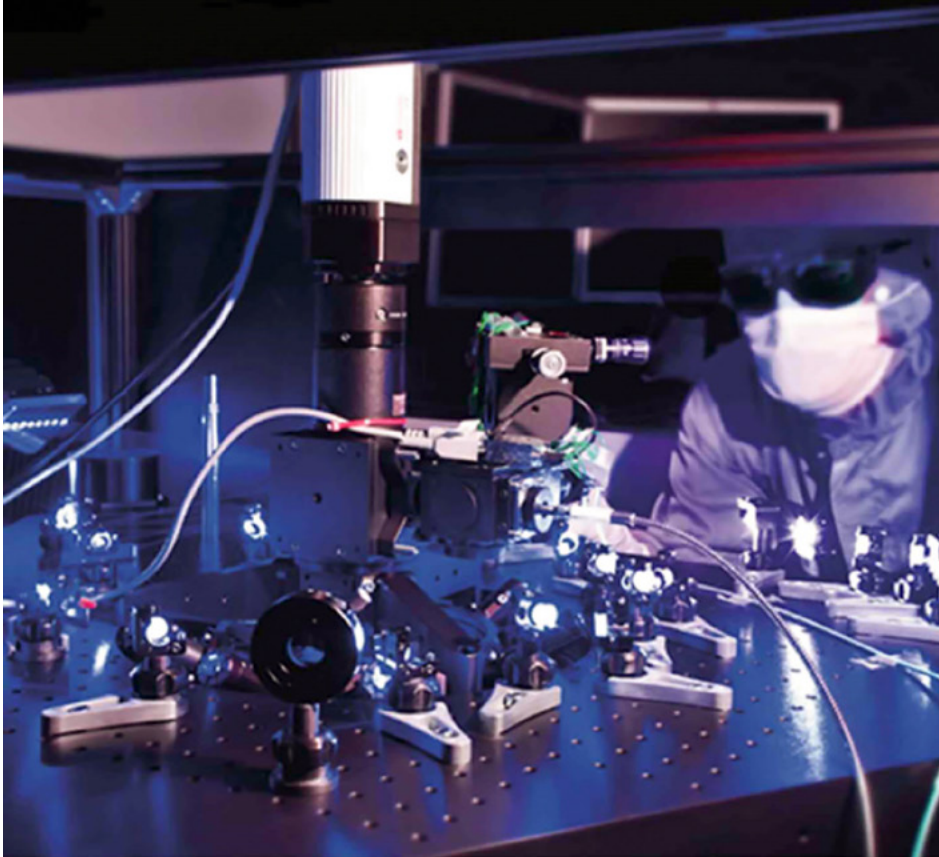
---

**Fotonica is een speerpunt in het regeerakkoord**

---



## NATIONALE AGENDA FOTONICA



sensor uitkomst. Daarnaast kan de sensor op termijn misschien zelfs vaststellen of iemand een aandoening heeft nog vóórdat er symptomen zijn.

### 2 Bizarre lenzen en spiegels voor telescopen en ruimtevaart tóch opmeten

Met 3D-printers kun je materialen “printen” in welke vorm dan ook. Lenzen en spiegels kunnen zo in vrije vormen worden gemaakt. Deze worden steeds vaker gebruikt in geavanceerde systemen zoals grote spiegels, telescopen en in de ruimtevaart.

Deze vreemde vormen zijn lastig te meten. En dat meten is juist essentieel om bijvoor-

beeld de sterkte van de lens te berekenen of om ze in een apparaat te passen. NANOMEFOS kan deze vormen wél meten, zeer snel en nauwkeurig. De contactloze machine werkt als een grote cd-speler, waarbij het te testen oppervlak op een spil wordt geplaatst terwijl een optische sonde – een soort flexibele staaf met minicamera – eroverheen wordt bewogen. Dit bijzondere meetinstrument is gemaakt door DOC en Demcon. Dutch United Instruments is opgericht om dit product naar de markt te brengen.

3 **Onzichtbare stofdeeltjes opsporen**  
Chips zitten in elk elektronisch apparaat. Met behulp van nanotechnologie

worden ze steeds kleiner gemaakt; nog geen honderd nanometer groot. Dat is minuscuul.

Bij fabricage van deze chips leidt vervuiling met het allerkleinste deeltje al tot een onbruikbaar product. Zo'n vuiltje is met het blote oog niet te zien. Daarom ontwikkelden DOC en Lans Engineering particle scanner Fast-micro. Met de “deeltjesscanner” kun je zien of een onderdeel, module of component schoon genoeg is om in een chipmachine te mogen.

De partners willen de scanners ook ontwikkelen voor andere sectoren waarbij hele kleine vuiltjes leiden tot fouten in het ontwerp. Bijvoorbeeld bij de productie van tv-schermen, of bij het aanbrengen van de aerodynamische laag over vliegtuigen. Lans Engineering hoopt samen met DOC een hele serie scanners en prototypes te maken. De eerste stap is gezet: het centrum heeft een subsidie binnengehaald om de particle scanners verder te ontwikkelen.

**Wie:** Dutch Optics Centre, opgericht door TNO en de Technische Universiteit Delft, Dutch United Instruments en Lans Engineering.

**Looptijd:** vanaf 2016 tot onbepaalde tijd.

**Budget:** projecten van enkele miljoenen per jaar.

**Vervolg:** alle drie de toepassingen kunnen verder voor de markt worden ontwikkeld.





De samenwerkende organisaties  
in toegepast onderzoek